

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
(Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Dr. A. Neff)

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH
Standort Marburg

**Zur Sensitivität und Spezifität
der digitalen Fluoreszenzkamera VistaProof
für die Detektion der okklusalen Karies**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Helge Marten Schipper
aus Göttingen

Marburg, 2012

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität
Marburg am: 17.09.2012

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan:	Prof. Dr. M. Rothmund
Referent:	Prof. Dr. A. Jablonski-Momeni
Korreferent:	Prof. Dr. M. Gente

1 Einleitung.....	1
2 Literaturübersicht.....	3
2.1 Ätiologie der Zahnkaries	3
2.2 Ätiologie der Fissurenkaries.....	4
2.3 Epidemiologie der Okklusalkaries.....	6
2.4 Verfahren zur Diagnose der Okklusalkaries.....	7
2.5 Visuelle und kombiniert visuell-taktile Diagnose	8
2.6 Faseroptische Transillumination (FOTI).....	10
2.7 Impedanzmessung.....	10
2.8 Fluoreszenz-basierende Kariesdiagnostik	12
2.8.1 Physikalische Grundlagen.....	12
2.8.2 Auswertung der reemittierten Laserfluoreszenz	12
2.8.2.1 DIAGNOdent.....	12
2.8.2.2 DIAGNOdent pen.....	15
2.8.3 Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF).....	15
2.8.4 Intraorales Fluoreszenzkamerasystem VistaProof	16
2.8.5 Fluoreszenzkamera SoproLife.....	20
2.9 Kariesdiagnose mittels Röntgen	21
2.10 Histologische Untersuchung von Zahnhartschnitten als Goldstandard in der Kariesdiagnose	21
2.11 Transversale Mikroradiographie (TMR)	24
2.12 Konfokale Laser Scanning Mikroskopie	24
2.13 Mikrohärtemessung	25
3 Zielsetzung und Fragestellungen	27
4 Material und Methode.....	29
4.1 Studiendesign	29
4.2 Material	29
4.2.1 Auswahl der Zähne	29
4.2.2 Dokumentation der Ausgangsbefunde	30
4.3 Methode.....	31
4.3.1 Visuelle Untersuchung	31
4.3.1.1 Untersucherkalibrierung.....	31
4.3.1.2 Visuelle Befundung der Zähne.....	31
4.3.2 Untersuchung mit der fluoreszenzbasierten Kamera VistaProof	33

4.3.3 Histologische Untersuchung.....	35
4.3.3.1 Herstellung der Zahnhartschnitte.....	35
4.3.3.2 Zuordnung der Zahnhartschnitte zu den Messpunkten.....	38
4.3.3.3 Erstellung digitaler Fotografien der Schliffpräparate	40
4.3.3.4 Befundung der Zahnhartschnitte.....	40
4.3.4 Datenerfassung und statistische Auswertung.....	42
4.3.4.1 Cohens Kappa-Statistik	42
4.3.4.2 Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman	42
4.3.4.3 Kreuztabellierung.....	43
4.3.4.4 Spezifität und Sensitivität.....	43
4.3.4.5 Receiver Operating Characteristic-Curves (ROC-Kurven).....	44
5 Ergebnisse	45
5.1 Visuelle Untersuchung.....	45
5.2 Untersuchungen mit der fluoreszenzbasierten Kamera VistaProof.....	46
5.2.1 Häufigkeitsverteilung der Fluoreszenzkamera-Befunde	46
5.3 Histologische Untersuchungen	46
5.3.1 Häufigkeitsverteilung der histologischen Diagnosen	47
5.3.2 Reproduzierbarkeit der histologischen Untersuchungen	47
5.4 Korrelation der Fluoreszenzkamera-Messungen mit der Histologie.....	47
5.5 Ermittlung neuer Cut-off-Punkte.....	49
5.6 Spezifität und Sensitivität der VistaProof-Fluoreszenzkamera.....	50
6 Diskussion	53
6.1 Diskussion der Problemstellung.....	53
6.2 Diskussion von Material und Methode	55
6.2.1 Auswahl und Lagerung der Zähne	55
6.2.2 Visuelle Untersuchung	56
6.2.3 Fluoreszenzmessung mit der Fluoreszenzkamera VistaProof.....	57
6.2.4 Herstellung der Zahnhartschnitte	59
6.2.5 Diskussion des Goldstandards Histologie	59
6.2.6 Studiendesign.....	60
6.3 Diskussion der Ergebnisse	61
6.3.1 Häufigkeitsverteilung der ICDAS-II-Diagnosen.....	61
6.3.2 Häufigkeitsverteilung der Fluoreszenzkamera-Messungen.....	62
6.3.3 Häufigkeitsverteilung der histologischen Diagnosen	62

6.3.4 Reproduzierbarkeit der histologischen Untersuchungen	62
6.3.5 Korrelation der Fluoreszenzkamera-Messungen mit der Histologie .	63
6.3.4 Sensitivität und Spezifität der VistaProof-Fluoreszenzkamera zur Diagnose der okklusalen Karies	64
6.4 Schlussfolgerung und klinische Relevanz.....	66
7 Zusammenfassungen	69
7.1 Zusammenfassung	69
7.2 Summary	71
8 Literaturverzeichnis	73
9 Anhang	85
10 Abkürzungsverzeichnis.....	91
11 Materialliste	93
12 Lebenslauf.....	95
13 Verzeichnis akademischer Lehrer	97
14 Danksagung	99
15 Ehrenwörtliche Erklärung	101

1 Einleitung

Die Zahnkaries gehört zu den häufigsten Erkrankungen der Zahnhartsubstanzen. Ihre Behandlung stellt eine der Kernaufgaben zahnärztlichen Handelns dar. Hierzu ist eine akkurate und frühzeitige Diagnose der Zahnkaries unabdingbar. Ein Zahnarzt muss also Veränderungen der Zahnhartsubstanz rechtzeitig erkennen und gleichzeitig eine Entscheidung über die Versorgungsmöglichkeiten der Läsion treffen können.

Obgleich die Erstuntersuchung der Mundhöhle und der Zähne gemeinhin visuell erfolgt, sind darüber hinaus in den letzten Jahrzehnten verschiedene diagnostische Möglichkeiten hinzugekommen. Die Entscheidung über das Vorhandensein und den Fortschrittsgrad einer Zahnkaries muss folglich nicht mehr ausschließlich auf der Basis einer visuellen Untersuchung gefällt werden.

Als gängige Methoden kommen hier die Faseroptische Transillumination mittels einer Kaltlichtsonde, die elektrische Widerstandsmessung, das Laserfluoreszenzverfahren und auch die Anwendung von Röntgenstrahlen in Frage. Seit 2007 ist zusätzlich das digitale Fluoreszenzkamerasystem VistaProof (Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen) auf dem Markt erhältlich.

Nach Definition der WHO ist eine Karies dann behandlungsbedürftig (D3-Level), wenn freiliegendes Dentin sichtbar oder unterminierter Schmelz mit erweichten Schmelzrändern tastbar ist. Diese Form der Karies ist allerdings stark rückläufig, so dass subtilere Diagnoseverfahren benötigt werden, mit denen sich zum Beispiel auch Initialläsionen erfassen lassen. Dies ist erforderlich, um eine valide Basis für ein Karies-Management zu schaffen, das zwischen interventionspflichtiger Dentinkaries und möglicherweise remineralisierbaren Schmelzläsionen unterscheidet. Ideal wäre daher ein System für die klinische Kariesdiagnose, das initiale Läsionen zuverlässig erfasst, aber auch eine Vorhersage über den Ausbreitungsgrad der Karies ermöglicht. In der zahnärztlichen Praxis würde die Entscheidung zwischen präventiven Maßnahmen und invasiver Therapie dadurch erheblich erleichtert.

Weiterhin wäre es nutzbringend, die longitudinale Entwicklung der Zahngesundheit auf der Basis valider Kariesdiagnose- und Monitoringsysteme genauer verfolgen zu können.

Alle oben genannten technischen Verfahren bringen eine Verbesserung der Kariesdetektion mit sich, indem sie quantifizierbare Messwerte liefern und den Grad der Demineralisation einer lokalisierten Läsion angeben können. Diese genaueren Angaben über das Ausmaß der Läsion unterstützen den Zahnarzt bei der richtigen Auswahl der Therapieform.

Auch das Fluoreszenzkamerasystem VistaProof scheint diese Anforderungen zu erfüllen. Laut Herstellerangaben ermöglicht VistaProof eine Zuteilung okklusaler Läsionen in die Kategorien „beginnende Schmelzkaries“, „tiefe Schmelzkaries“, „Dentinkaries“ und „tiefe Dentinkaries“. Allerdings lagen unmittelbar nach der Markteinführung der VistaProof nur ungenügende Daten zur Validierung des Systems vor, mit Ausnahme eines getesteten Prototyps. Insbesondere zur kommerziell erhältlichen Version aber waren kaum Studien verfügbar.

Ziel der vorliegenden Arbeit war daher, im Rahmen einer In-vitro-Untersuchung die Sensitivität und Spezifität dieser Methode für die Diagnose der okklusalen Karies zu ermitteln und diese Ergebnisse mit denen einer visuellen Auswertung zu vergleichen. Als „Goldstandard“ diente dabei die histologische Beurteilung der korrespondierenden Zahnhartschnitte.

Zunächst werden in einer Literaturübersicht Grundlagen der Ätiologie und Prävalenz der okklusalen Karies erörtert und verschiedene Verfahren zur Diagnose der Fissurenkaries vorgestellt. Anschließend wird die Vorgehensweise bei der Befunderhebung und Herstellung der Zahnhartschnitte sowie der histologischen Betrachtung erläutert. Darauf folgt eine Darstellung der Ergebnisse, die dann in einer abschließenden Diskussion im Kontext besprochen werden.

2 Literaturübersicht

2.1 Ätiologie der Zahnkaries

Bei der Zahnkaries handelt es sich um eine Erkrankung, die multifaktoriell bedingt ist und in einer Zerstörung von Zahnhartsubstanzen resultiert. *Miller* [1889] stellte erstmals die Vermutung an, dass die Demineralisation von Zahnhartsubstanzen durch organische Säuren erfolgen könnte, die bei Zufuhr niedermolekularer Kohlenhydrate von kariogenen Mikroorganismen in der Zahnplaque produziert werden. Diese Theorie wurde von *Keyes* [1962] bestätigt und findet bis heute Akzeptanz. Weiterhin maß *Keyes* [1962] den Faktoren „Wirt“ und „kariogenes Substrat“ eine besondere Bedeutung bei. *König* [1971] schließlich beschrieb die Relevanz des Zeitraumes, in dem die Säuren wirken können. Sind die vier genannten Faktoren gleichzeitig vorhanden, ermöglicht dies die Entstehung kariöser Läsionen in der Zahnhartsubstanz.

Die Entstehung und das Fortschreiten einer Karies unterliegen darüber hinaus sekundären Faktoren. Hier sind beispielhaft Speichелеigenschaften zu nennen, aber auch Immunabwehr und sozioökonomische Komponenten spielen eine Rolle [König, 1971].

Die Entwicklung einer kariösen Läsion ist als dynamischer Prozess mit De- und Remineralisationsphasen zu verstehen [Schroeder, 1997]. Die Demineralisation hat ihren Ursprung in der von oralen Mikroorganismen (insb. Laktobazillen und Mutansstreptokokken) produzierten Säure, die zu einem Abfall des pH-Wertes in der Plaque führt. Hierdurch werden Kalzium- und Phosphationen aus dem Schmelz herausgelöst, die dann entlang ihres Konzentrationsgefälles zur Schmelzoberfläche und in die Plaque diffundieren.

Erfolgt nun eine Neutralisation der Säuren in der Plaque durch den Speichel und eine Anhebung des pH-Wertes in den neutralen Bereich von 6,5-6,9, so kommt es zu einer Remineralisation. Hierbei liegt eine Übersättigung der Plaque mit Kalzium- und Phosphationen vor, was eine umgekehrte Ionenbewegung in den oberflächlichen Schmelz ermöglicht.

Dieses Wechselspiel aus De- und Remineralisation bezeichnete *Levine* [1977] als „Ionenwippe“. „Kippt“ diese nun in Richtung mehrheitlicher Demineralisationsphasen, tritt ein Verlust an Zahnhartsubstanz ein, der zunächst nur mikroskopisch sichtbar, später aber auch klinisch festzustellen ist.

In kariesprophylaktischer Hinsicht wäre also wünschenswert, die Anzahl der Mahlzeiten und somit der Produktionsschübe organischer Säuren nach Möglichkeit zu reduzieren. Dies allerdings steht im Widerspruch zum ernährungsphysiologisch sinnvollen Ansatz, die Nahrungsaufnahme möglichst in Form mehrerer, kleiner Mahlzeiten über den Tag zu verteilen [Jenkins et al., 1989; Gerhardt, 1998].

Die Anfälligkeit für Karies ist in bestimmten Bereichen des Zahnes erhöht. An diesen sogenannten Prädilektionsstellen ist die Entstehung von Karies begünstigt, weil hier die Selbstreinigung durch Zunge, Wange und Speichel eingeschränkt oder unmöglich ist. Insbesondere Fissuren und Grübchen, aber auch die zervikalen Anteile der Zahnkronen, exponierte Wurzeloberflächen sowie Approximalflächen sind in diesem Zusammenhang zu nennen.

2.2 Ätiologie der Fissurenkaries

In den ersten Jahren nach dem Zahndurchbruch besteht aufgrund der nicht abgeschlossenen posteruptiven Schmelzreifung eine allgemein erhöhte Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Schmelzkaries [Crabb, 1976]. Zwar ist dies kein für Fissuren spezifisches Phänomen, auf deren Kariesanfälligkeit aber hat die Schmelzreifung einen stärkeren Einfluss [Lussi et al., 1995].

Des Weiteren begünstigen besonders in den Fissuren mehrere Faktoren die Entstehung von Karies. *Carvalho et al.* [1989] beispielsweise beschreiben eine erhöhte Plaqueakkumulation in den Fissuren und Grübchen durchbrechender Zähne. Fehlender Antagonistenkontakt und erschwerte Reinigung während des Zahndurchbruchs erhöhen dieses Risiko noch.

Eine hohe Dicke des Schmelzmantels steht der Kariesentstehung entgegen. Liegt diese, wie im Fissurenfundus, nur bei 0,2 mm, stellt dies lediglich ein kurzzeitiges Hemmnis für die Kariesinitiation dar [Rohr et al., 1991].

Abschließend ist auch die Bedeutung der Fissurenmorphologie (Abb. 2.1) für die Entstehung der Karies zu erwähnen. Karies findet sich am häufigsten im unteren Bereich der Fissur [Juhl, 1983] und beginnt bei unterschiedlichen Fissurentypen gehäuft an bestimmten Lokalisationen innerhalb der Fissur: Laut *Nagano* [1960] beispielsweise sind dies beim V-Typ (weiter Eingangsbereich, Fissurengrund schmaler) der Fissurengrund, beim U-Typ (Breite gleichbleibend) der mittlere Bereich und beim I- (schmaler Spalt) und IK-Typ (schmaler Spalt,

im Grund erweitert) der Eingangsbereich. *König* [1963] konnte diese Beobachtungen bestätigen.

Bei einer ungünstigen Fissurenmorphologie wird eine vollständige Plaque-entfernung im Fissurenfundus erschwert, bisweilen sogar unmöglich gemacht [Lussi et al., 1995]. Infolge dessen bilden sich in den Fissurensystemen Mikrobiotope, die ein Fortschreiten der Karies unabhängig von der generellen Kariesgefährdung des Wirtes ermöglichen [Laurisch, 2007].

Weiterhin gibt es Hinweise darauf, dass die Fissurmorphologie einen negativen Einfluss auf die kariesprotektive Wirkung von Fluoriden und Chlorhexidin haben könnte [Fennis-le et al., 1998; Pearce et al., 1999].

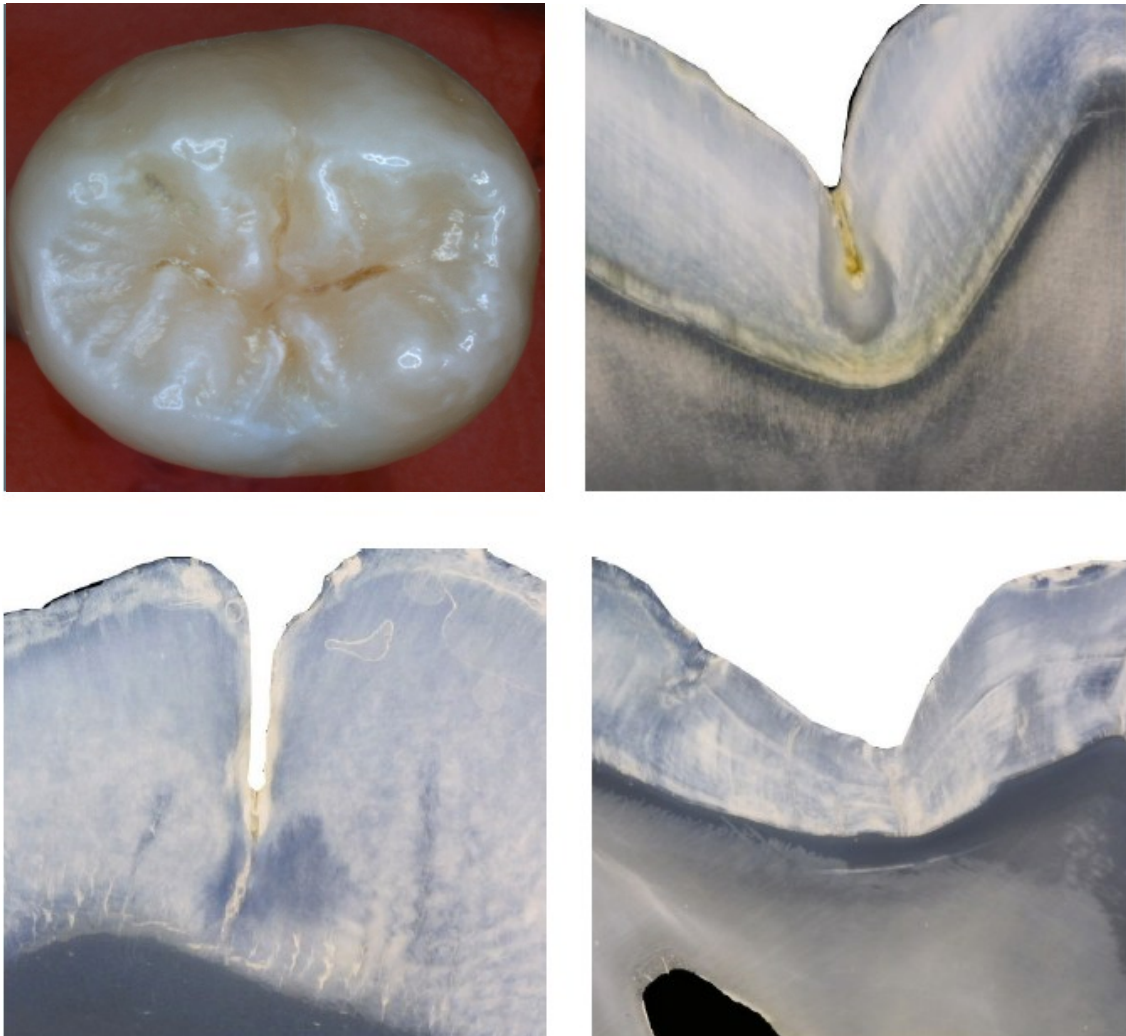


Abb. 2.1: Okklusale Morphologie eines Molaren in der Aufsicht (oben links) und im histologischen Schnitt

2.3 Epidemiologie der Okklusalkaries

In den letzten Jahren bestätigte eine Vielzahl von nationalen [Pieper, 1995; Pieper, 1996; Pieper, 1998; Pieper, 2001; Pieper, 2005; Micheelis und Schiffner, 2006; Pieper, 2010] sowie regionalen Studien [Momeni et al., 2002; Momeni et al., 2005; Jablonski-Momeni et al., 2007] einen Trend zum Rückgang der Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen. Bereits zu Beginn der 80er Jahre konnte dieses Phänomen in einigen europäischen Regionen beobachtet werden [Glass, 1982; Marthaler, 2004]. Im Rahmen der aktuellen Studie der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege [Pieper, 2010] wurde im Zeitraum zwischen 1994/95 und 2009 für die Altersgruppe der Sechs- bis Siebenjährigen ein Kariesrückgang von 35,3 % ermittelt. Bei den Zwölfjährigen betrug der auch als „Caries decline“ bezeichnete Rückgang sogar 70,5 %.

Als ein weiteres Ergebnis dieser Studie musste eine schon bei früheren Studien [Pieper, 2005] beobachtete Polarisierung des Kariesbefalls bestätigt werden: Während eine relativ große Gruppe von Kindern keine Karieserfahrung hat, existiert eine kleine Gruppe sogenannter „Kariesproduzenten“. Dies trifft nicht nur für das Milchgebiss Sechs- bis Siebenjähriger zu, sondern auch für die bleibende Dentition von 12- bis 15-Jährigen [Pieper, 2010].

Auch *Micheelis und Schiffner* [2006] bestätigten die ungleiche Verteilung des Kariesaufkommens innerhalb einzelner Altersgruppen: Bei 10,2 % der untersuchten Zwölfjährigen fanden sich 60,1 % der Karieserfahrung, in der Gruppe der 15jährigen ließen sich 79,2 % der Karieserfahrung bei 26,8 % der Untersuchten feststellen.

Trotz des zurückgegangenen Kariesaufkommens gibt es nach wie vor besonders gefährdete Zahnflächen. Betrachtet man etwa das bleibende Gebiss bis hin zum zwölften Lebensjahr, so tritt Karies hauptsächlich in den Fissuren und Grübchen der ersten Molaren auf. Entsprechend verstreichen im Durchschnitt etwa vier Jahre, bis diese Zähne von Karies befallen sind. Durchschnittlich ein Jahr länger ist die Dauer bis zum Kariesbefall der Okklusalfächen zweiter Molaren [Hannigan et al., 2000].

Erst ab dem 13. Lebensjahr findet eine Verlagerung der typischen Lokalisation kariöser Läsionen statt: Häufiger treten diese nun im Approximalbereich auf [Mejare et al., 1998].

Neben den Veränderungen im Kariesaufkommen wurde auch ein verändertes klinisches Erscheinungsbild der Okklusalkaries festgestellt. Beispielsweise kann eine Dentinkaries von einer scheinbar intakten Schmelzoberfläche überdeckt sein und somit der visuellen Inspektion verborgen bleiben (Abb. 2.2). Hierfür hat sich in der Literatur die Bezeichnung „hidden caries“ etabliert. Dieses Phänomen wurde von *Weerheijm et al.* [1997] als eine Dentinkaries definiert, die zwar bei der klinischen Untersuchung nicht diagnostizierbar ist, sich im Röntgenbild aber als deutlich umschriebene Radioluzenz unter einer intakten okklusalen Schmelzschicht zeigt. Eine Grund für die „hidden caries“ könnte in der verbreiteten Anwendung fluoridhaltiger Produkte zu finden sein [Lussi, 1993; Weerheijm et al., 1997]. *Lussi* [1993] erwähnt die Möglichkeit, dass Fluorapatit über die Förderung von Remineralisationsvorgängen in der Schmelzschicht eine darunter liegende, voranschreitende Dentinläsion verhüllen könnte. Vor diesem Hintergrund erscheint es plausibel, dass die Sensitivität für die klinische Inspektion bei bestenfalls 20 % liegt [Lussi, 1998].

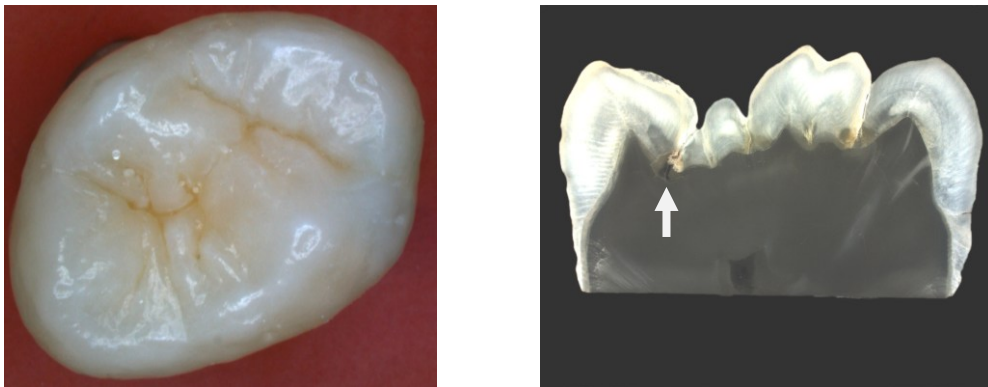


Abb. 2.2: Scheinbar intakter Molar; im Zahnhartschnitt sichtbare Dentinkaries

2.4 Verfahren zur Diagnose der Okklusalkaries

Insbesondere hinsichtlich der Beurteilung des Fortschreitungsgrades einer Läsion stellt die Diagnose der Okklusalkaries eine nicht unerhebliche Herausforderung für den Behandler dar [Pine und ten Bosch, 1996; Weerheijm et al., 1997]. Besonders hier ist aber wegen des häufigeren Vorkommens okklusaler Läsionen eine rechtzeitige und verlässliche Kariesdiagnose wichtig. Im Folgenden werden verschiedene bekannte Diagnoseverfahren beschrieben, die aktuell zur Verfügung stehen.

2.5 Visuelle und kombiniert visuell-taktile Diagnose

Die visuelle Inspektion stellt das Fundament der systematischen Kariesdiagnostik dar und geht gemeinhin allen weiteren Diagnoseverfahren voraus. Üblicherweise wird hierbei die gereinigte und getrocknete Zahnfläche bei geeigneter Beleuchtung unter Zuhilfenahme einer zahnärztlichen Sonde und eines Spiegels betrachtet.

Gerade der Einsatz der Sonde allerdings wird zunehmend kritischer betrachtet: Galt lange Zeit das „Kleben“ einer mit leichtem Druck eingeführten Sonde in der Fissur als starkes Indiz für eine kariöse Läsion [Lussi, 1993], so werfen doch andere Studien ein zweifelhaftes Licht auf diese Methode. Laut *Penning et al.* [1992] beispielsweise konnten kariöse Läsionen mittels des Sondenkriteriums nur in 24 % der Fälle korrekt diagnostiziert werden, weswegen die Autoren diesen Sondeneinsatz als nicht indiziert betrachten.

Hinzu kommt, dass ein unvorsichtiger Gebrauch der Sonde zu mechanischen Schäden im Schmelz führen kann, was die Entstehung neuer kariöser Defekte begünstigt. Gemäß einer Studie von *Ekstrand et al.* [1987] lagen an frisch exfoliierten dritten Molaren nach Sondieren 53 % mehr Zerstörungen der Hartsubstanz vor als an nicht sondierten Zähnen. Überdies wird so eine Remineralisation initial demineralisierten Schmelzes unmöglich gemacht [Ekstrand et al., 1987; Schulte et al., 2008].

Auch auf nicht-mechanischem Wege könnte die taktile Kariesdiagnose die Kariesentstehung begünstigen: *Loesche et al.* [1979] zeigten, dass beim Einsatz einer zahnärztlichen Sonde kariopathogene Keime von kontaminierten in vormals sterile Fissuren übertragen werden können. Dem entgegen steht die Beobachtung von *Hujoel et al.* [1995], wonach die Kariesinitiation nur sehr geringfügig durch eine Keimübertragung beim Sondieren beeinflusst wird.

Lussi [1995] beobachtete, dass durch den zusätzlichen Gebrauch einer zahnärztlichen Sonde, verglichen mit lediglich visueller Inspektion, keine Verbesserung der diagnostischen Güte zu erreichen ist.

Ein besseres Hilfsmittel in der taktilen Kariesdiagnostik könnte, entsprechend einer Empfehlung der *WHO* [1997], eine abgerundete Parodontalsonde sein. Mit einer solchen stumpfen Sonde kann die Zahnfläche drucklos abgetastet werden, um einen Eindruck von der Oberflächenbeschaffenheit bzw. -rauigkeit zu erhalten.

Besonderes Augenmerk muss bei der visuellen Inspektion auf die Erfassung von kreidig-weißen Opazitäten (white spot) sowie Braunverfärbungen (brown spot) der Zahnhartsubstanz gelegt werden. Während erstere ein Indiz für aktive Läsionen sind, gelten letztere als Hinweis auf eine inaktive Karies [Heinrich-Weltzien et al., 2008].

Es existiert eine Vielzahl an Indizes, nach denen bei der visuellen Kariesdiagnose eine Unterteilung in unterschiedliche Kariesstadien anhand verschiedener Kriterien erfolgen kann. Die von *Ekstrand et al.* [1998] und *Nyvad et al.* [1998] vorgestellten visuellen Diagnosesysteme konnten sich bereits bei wissenschaftlichen Untersuchungen etablieren. Das fünfstufige System von *Ekstrand et al.* [1998] beruht dabei auf Farb- und Strukturveränderungen der Zahnhartsubstanz. Im sechsstufigen Klassifikationssystem von *Nyvad et al.* [1998] spiegelt sich darüber hinaus auch die Aktivität einer Läsion wider. Zur Unterscheidung zwischen aktiven und inaktiven Läsionen werden vor allem Farbe und Oberflächenbeschaffenheit herangezogen.

Eine validierte Methode zur visuellen Kariesdiagnose stellt das 2005 vorgestellte International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) dar. Auf der Grundlage bereits validierter Kariesdiagnosemethoden [Ekstrand et al., 1997; Fyffe et al., 2000a; Ekstrand et al., 2001; Chesters et al., 2002; Ricketts et al., 2002; Ekstrand et al., 2005] wurde ein System zur akkuraten Diagnose, Prognose und klinischem Management der Zahnkaries entwickelt. Zusätzlich zur bloßen Detektion der Karies sollte eine Einschätzung der Ausdehnung sowie idealerweise der Aktivität einer Läsion möglich sein, und zwar in der Lehre ebenso wie in der Zahnarztpraxis und in epidemiologischen Studien [Pitts, 2004]. Das siebenstufige System (Code 0-6) basiert darauf, dass bereits kleinste, subtile Veränderungen der Zahnoberfläche mit histologischen Veränderungen einhergehen können [ICDAS Coordinating Committee, 2009]. Bei der visuellen Inspektion der gereinigten Zähne kann zur taktilen Unterstützung eine CPI- oder Parodontalsonde verwendet werden. Die Reproduzierbarkeit des ICDAS-II liegt für die okklusale Kariesdiagnostik mit Kappawerten von $\kappa=0,61-0,83$ im guten Bereich [Jablonski-Momeni et al., 2008a; 2008b]. Hinsichtlich der Sensitivität ergaben sich für die Detektion von Schmelz- und Dentinläsionen (D1-Niveau) 90,7% und für die Dentinkaries (D3-Niveau) 86,6%. Die Spezifität lag bei 54,0% (D1-Niveau) bzw. bei 69,6% (D3-

Niveau). Eine In-vitro-Studie von *Rodrigues et al.* [2008] an 119 bleibenden Molaren produzierte für das ICDAS-II einen Sensitivitätswert von 0,73 und einen Spezifitätswert von 0,65.

An ICDAS angelehnt ist das universelle visuelle Scoring System (UniViss) [Kühnisch et al., 2007a]. *Kühnisch et al.* [2011] brachten in einer In-vitro-Studie Sensitivitätswerte von 100% bzw. 62,5% (D1- bzw. D3-Niveau) und Spezifitätswerte von 58,3% bzw. 97,6% (D1-/D3-Niveau) zutage. Daten zur Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit lagen im guten Bereich, für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit ergaben sich moderate Werte.

2.6 Faseroptische Transillumination (FOTI)

Die veränderte Lichtdurchlässigkeit kariöser Läsionen gegenüber intakter Zahnhartsubstanz ist die Grundlage der Kariesdiagnose mit einer Kaltlichtsonde. Hierbei zeigt sich vor allem kariöses Dentin, aber auch kariöser Schmelz im Durchlicht als dunkler Schatten [Pieper, 1986].

Ursprünglich wurde FOTI für die Diagnose von Approximalkaries entwickelt und zu diesem Zweck bereits 1974 eingesetzt [Menzel und des Bordes, 1974]. Eine spätere Studie zeigte, dass die Methode besser für die Detektion von Karies in der äußeren Dentinhälfte geeignet sei als visuelle sowie röntgenologische Untersuchungen [Wenzel et al., 1992]. Während eine weitere Studie den genannten drei Methoden vergleichbare Leistungen bei der Detektion von Dentinkaries bescheinigt, wird dort beschrieben, dass FOTI bei der Detektion von Schmelzkaries der Röntgenuntersuchung überlegen sei [Côrtes et al., 2000].

Aufbauend auf FOTI wurde das DIFOTI-Verfahren (digital fiber optic transillumination) entwickelt. Hierbei wird der durchleuchtete Zahn mittels einer intraoralen Kamera registriert. Bei der Diagnose von Okklusalkaries ergab eine Studie eine Sensitivität von 0,67 und eine Spezifität von 0,87 [Schneiderman et al., 1997].

2.7 Impedanzmessung

Das Verfahren der elektrischen Impedanz- bzw. Widerstandmessung macht sich die physikalischen Eigenschaften des Schmelzes zunutze. Dessen Funktion als elektrischer Isolator wird geschwächt, wenn infolge einer

Demineralisation Porositäten entstehen, die anschließend Wasser aufnehmen. Folglich sinkt der elektrische Widerstand umso stärker, je mehr Zahnhartsubstanz zerstört und durch besser leitendes Wasser ersetzt wird [Lussi et al., 1995]. Eine Studie von *Ricketts et al.* [1995a] befasste sich mit dem Einsatz dieser Methode zur Diagnose initialer Fissurenkaries. Hierbei ergaben sich eine Sensitivität von 0,81 und eine Spezifität von 0,78. Ähnliche Werte ermittelte später *Lussi* [1998], hier betrug die Sensitivität 0,93-0,96, die Spezifität betrug 0,71–0,77. Ein hiervon abweichendes Bild zeichnet eine Studie von *Kühnisch et al.* [2006a]. An den nicht kavitierten Okklusalfächen von 117 Weisheitszähnen wurde ein Vergleich zweier Verfahren zur elektrischen Impedanzmessung vorgenommen. Die ermittelten Sensitivitäten waren mit 0,36-0,51 niedrig, die Spezifitäten mit 0,84-0,97 dagegen hoch. Einen möglichen Grund dafür sehen *Longbottom und Huysmanns* [2004] in Veränderungen in Porosität, Mineralgehalt, Wassergehalt und Temperatur des Zahnschmelzes, die die Messwerte beeinflussen könnten. *Kühnisch et al.* [2006a] folgern, dass die Impedanzmessung in der Kariesdiagnostik nicht als alleiniges Verfahren, wohl aber ergänzend anzuwenden sei. Auch die post eruptive Schmelzreifung steigert den elektrischen Widerstand im Fissurenbereich, so dass deren Einfluss bei der Auswertung von Widerstandsmessungen berücksichtigt werden muss [Schulte und Pieper, 1997].

Kommerziell verfügbar ist der Messsensor CarieScan Pro (CarieScan Ltd., Dundee, Großbritannien; Vertrieb in Deutschland über Orangedental GmbH & Co. KG, Biberach). Dem Gerät liegt das „AC Impedance Spectroscopy“-Verfahren zugrunde, bei dem ein Wechselstrom durch den Zahn geleitet wird [Longbottom et al., 1996]. Durch Wechseln der Frequenz kann ein Spektrum aus Impedanzpunkten in unterschiedlichen Tiefen unter der Zahnoberfläche erstellt werden. Das Gerät erstellt daraufhin eine Analyse und trifft anhand eines Farbschemas (Grün, Gelb, Rot) und eines Zahlenwertes (0-99) eine Vorhersage über die Tiefe der Läsion. Mittels der neu entwickelten Software CarieScan Pro Remote View können die Patientendaten und sämtliche Messergebnisse dokumentiert und verwaltet werden. *Pitts et al.* [2008a] befassen sich mit der Fähigkeit des CarieScan, visuell unentdeckte Dentinkaries zu diagnostizieren. Eine weitere Studie von *Pitts et al.* [2008b] nennt für die Diagnose von Okklusal- sowie von Glattflächenkaries Sensitivitäts-

und Spezifitätswerte von jeweils 92,5%. Bei Ermittlung der Sensitivität wurden hierbei vermeintlich gesunde und initial kariöse Zähne zusammengefasst und den fortgeschritten kariösen Zähnen gegenübergestellt. Bei der Spezifität hingegen wurden vermeintlich initial und fortgeschritten kariöse Zähne als Gruppe den gesunden Zähnen gegenübergestellt.

2.8 Fluoreszenz-basierende Kariesdiagnostik

2.8.1 Physikalische Grundlagen

Unter Fluoreszenz versteht man die Absorption von Licht einer bestimmten Wellenlänge mit einhergehender Emission von Licht mit größerer Wellenlänge. Der Vorgang lässt sich bei unterschiedlichen Molekülen nachweisen. Dabei werden Elektronen des jeweiligen Moleküls durch die Absorption von Photonen auf ein höheres Energieniveau gehoben. Da dieser Zustand nicht stabil ist, sinken die Elektronen unter Abgabe der aufgenommenen Energie wieder auf ihr ursprüngliches Energieniveau ab, und Fluoreszenzlicht wird emittiert. Das Fluoreszenzlicht stellt aber nur einen Teil der abgegebenen Energie dar, es ist folglich energieärmer und hat eine größere Wellenlänge als das Exzitationslicht. *Stübel* [1911] wies als Erster die Fluoreszenz auch an Zahnhartsubstanzen nach. Deren Fluoreszenzmuster verändert sich bei der Entstehung einer Karies, wobei umso mehr Fluoreszenz auftritt, je höher der Demineralisationsgrad von Schmelz und Dentin ist. *König et al.* [1998] stellten die Vermutung an, dass Porphyrinderivate, also Stoffwechselprodukte bestimmter kariesrelevanter Bakterien, für diese Fluoreszenz ursächlich seien. Diese These wird durch *Buchalla et al.* [2008] gestützt. Obgleich noch nicht alle verantwortlichen Porphyrine zu identifizieren waren, konnten die Autoren die Rolle des Protoporphyrins IX, und der Coproporphyrine I und II bei der Fluoreszenzentstehung bestimmen.

2.8.2 Auswertung der reemittierten Laserfluoreszenz

2.8.2.1 DIAGNOdent

Die oben geschilderten Umstände macht sich das seit 1998 erhältliche Laserfluoreszenzgerät DIAGNOdent 2095 (KaVo, Biberach) zunutze. Das Gerät

emittiert Laserlicht von 655 nm Wellenlänge bei einer Leistung von 1 mW. Das Licht kann bis zu 2 mm unter der Zahnoberfläche eine Fluoreszenz hervorrufen, die von einer als Detektor fungierenden Fotodiode registriert wird. Dabei wird Licht mit einer Wellenlänge unterhalb von 680 nm durch einen Empfangsfilter herausgefiltert. Somit wird etwa reflektiertes Anregungslicht blockiert, ebenso wie kürzerwellige Streustrahlung anderer künstlicher oder natürlicher Lichtquellen. Mittels einer Modulation des Anregungslichtes und einer Verstärkung des entsprechenden Anteils wird eine Eliminierung langwelliger Störstrahlung erreicht [Hibst, 1999].

Das DIAGNOdent kann sowohl in Fissuren als auch an Glattflächen eingesetzt werden. Für erstere ist eine kegelförmige Sonde (Sonde A) zu verwenden, für letztere eine plane Sonde (Sonde B). Der Aufbau der Detektionsspitzen ist bei beiden Typen gleich: Zentral befinden sich Fasern für die Zuführung des Exzitationslichtes, umgeben von konzentrisch angeordneten Fasern zur Aufnahme und Weiterleitung des vom Zahn abgegebenen Fluoreszenzlichtes.

Vor dem Einsatz des DIAGNOdent müssen die zu untersuchenden Zähne gereinigt und getrocknet werden [Lussi et al., 2003]. Neben den offensichtlichen Vorzügen bei der visuellen Inspektion wird so eine Verfälschung des Messergebnisses durch die Fluoreszenz von Speiseresten, Verfärbungen oder Zahnbelägen verhindert. Um den Einfluss der individuellen Eigenfluoreszenz des Schmelzes zu vermindern, muss das Gerät vor der Messung an intaktem Schmelz kalibriert werden. Hierzu wird die Fluoreszenz an einer gesunden Zahnoberfläche ermittelt und bei der Messung an den eigentlichen Messpunkten abgezogen. Zur Messung wird der gesamte zu begutachtende Bereich (z.B. Fissur) mit der Sondenspitze abgetastet, wobei auf eine ständige Rotation der Spitze um ihre Längsachse zu achten ist. Neben dem aktuell gemessenen Wert zeigt das DIAGNOdent auch den Peak-Wert an, also den höchsten an dem jeweiligen Messpunkt gemessenen Wert. Zusätzlich kann ein Pfeifton eingeschaltet werden, der bei steigender Defekttiefe an Frequenz zunimmt.

Es liegt eine Vielzahl an In-vitro- und In-vivo-Studien zu DIAGNOdent vor, die sich auch in Übersichtsarbeiten widerspiegelt [Bader und Shugars, 2004; Lussi et al., 2004]. Für die Sensitivität an Milchzähnen werden Werte von 0,75-0,82 angegeben, für die Spezifität Werte von 0,68-0,85 [Lussi et al., 2004]. Größer

ist die Spannweite der Ergebnisse an bleibenden Zähnen, hier werden Werte für die Sensitivität zwischen 0,19 und 0,95 genannt, für die Spezifität zwischen 0,50 und 1,00. Für Milchzähne lag die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit zwischen 0,72-0,81, für bleibende Zähne betrugen die Kappa-Werte 0,75-0,93. Eine Studie von *Pereira et al.* [2001] hingegen kommt zu dem Ergebnis, dass, abhängig von Gerät und Untersucher, eine nennenswerte Variabilität auftreten kann. Derartige Schwankungen in der Reproduzierbarkeit sind möglicherweise auf eine Fluoreszenzabnahme nach dauerhafter Lagerung sowie auf unterschiedliche, verwendete Lagerungsmedien zurückzuführen [Francescut et al., 2006]. Dabei könnten Fluorophore, also die fluoreszierenden Moleküle, gelöst werden oder chemischen Reaktionen unterworfen sein, jeweils mit der Folge einer abnehmenden Fluoreszenz.

Bereits 2003 befasste sich eine klinische Studie mit der diagnostischen Akkuratheit visueller, röntgenographischer und laseroptischer Diagnoseverfahren [Heinrich-Weltzien et al., 2003], deren Ergebnisse denen von *Lussi et al.* [2004] ähneln. Bei einer nahezu perfekten Reproduzierbarkeit ($\kappa=0,89$) ergaben sich eine Sensitivität von 0,93 und eine Spezifität von 0,63. Die Autoren leiteten hieraus ab, dass DIAGNOdent für die nicht-invasive Diagnose versteckter, okklusaler Dentinläsionen geeignet sei.

Aufgrund der guten Reproduzierbarkeit der Messergebnisse ist außerdem eine Erfolgskontrolle der Intensivprophylaxe im Sinne der longitudinalen Überwachung einer kariösen Läsion möglich [Lussi, 2000]. Auch die Kariesaktivität kann beim Vergleich aufeinander folgender Messungen über einen gewissen Zeitraum beurteilt werden.

Jablonski-Momeni et al. [2011a] überprüften in einer aktuellen In-vitro-Studie die diagnostischen Fähigkeiten des DIAGNOdent an 100 extrahierten Zähnen. Bei Verwendung der in der Literatur gängigen Cut-off-Punkte ergaben sich auf dem D1-Niveau eine Sensitivität von 0,82 und eine Spezifität von 0,48. Auf dem D3-Niveau lag die Sensitivität bei 0,54 und die Spezifität bei 0,89. Bei Anpassung der Cut-off-Punkte an die jeweiligen Optima aus Sensitivität und Spezifität wurden dagegen für das D1-Niveau eine Sensitivität von 0,62 und eine Spezifität von 0,80 erreicht, für das D3-Niveau eine Sensitivität von 0,72 und eine Spezifität von 0,76.

Eine weitere Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2012a] befasst sich mit Fällen, in denen mehrere Untersuchungspunkte auf der gleichen Okklusalfäche vorliegen. Das DIAGNOdent ermöglicht hier eine spezifische Bewertung jedes Messpunktes, die von etwaigen anliegenden Läsionen allenfalls moderat beeinflusst wird.

2.8.2.2 DIAGNOdent pen

Basierend auf dem DIAGNOdent wurde das DIAGNOdent pen 2190 (KaVo, Biberach) entwickelt. Außer der Untersuchung von Fissuren und Glattflächen ermöglicht dieses mittels einer zusätzlichen, um 360 Grad drehbaren Sonde auch den Scan im Approximalbereich.

Für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit ermittelten *Lussi und Hellwig* [2006] einen Wert von $\kappa=0,83$. Die Sensitivität lag zwischen 0,78 und 0,96, während die Spezifität zwischen 0,69 und 0,89 lag. Zwischen den Messergebnissen von DIAGNOdent und DIAGNOdent pen konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Eine weitere Studie [Ricketts et al., 2008] wurde an 112 Milchmolaren durchgeführt. Für die Diagnose von Okklusalkaries ergab sich eine Spezifität von 0,90 und eine Sensitivität von 0,74. Lediglich im moderaten Bereich lag die ermittelte Reproduzierbarkeit ($\kappa=0,52$). Eine im gleichen Jahr veröffentlichte Studie von *Huth et al.* [2008] gab für das DIAGNOdent pen einen Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) von 0,94-0,99 an.

2.8.3 Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF)

Wie auch die Laserfluoreszenztechnik, macht sich die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF) Veränderungen der Lichtstreuung und des Fluoreszenzverhaltens von erkrankter gegenüber gesunder Zahnhartsubstanz zunutze. Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem Mineralverlust im Rahmen kariöser Destruktion und einer Abnahme an Fluoreszenz. Bei der QLF wird eine Zahnoberfläche mit Licht im blauen Spektralbereich zwischen 290 nm und 450 nm Wellenlänge (durchschnittlich 380 nm) beleuchtet und das sich bietende Fluoreszenzbild mit einer Farbkamera erfasst [Pereira et al., 2009]. Mittels einer Software kann nun der Verlust an Fluoreszenz quantifiziert werden [Ifland et al., 2004]. Ein Vergleich der Fluoreszenz einer veränderten

Zahnoberfläche mit dem Messergebnis von gesundem Schmelz lässt eine Vorhersage über das Vorliegen einer kariösen Läsion zu. Auch hier kann eine Läsion über einen längeren Zeitraum beobachtet und somit ihr Fortschreiten eingeschätzt werden [Ando et al., 1997].

Als kommerziell verfügbare Version befindet sich das Gerät QLF\clin (Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, Niederlande) auf dem Markt. Mehrere Studien befassten sich mit dem Einsatz des Verfahrens zur Detektion von Okklusalkaries. Hierbei ergaben sich für die Sensitivität Werte zwischen 68% und 91% und für die Spezifität Werte zwischen 70% und 91% [Ifland et al., 2004; Pretty und Maupomé, 2004; Kühnisch et al., 2006b]. Diesen zunächst vielversprechenden Ergebnissen steht hinsichtlich einer routinemäßigen Anwendung in der zahnärztlichen Praxis allerdings ein erheblicher Zeitaufwand entgegen [Kühnisch et al., 2007b]. Eine Studie von *Pretty et al.* [2002] zeigt, dass die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit des Verfahrens vom Erfahrungsgrad des Untersuchers beeinflusst wird. Die Autoren folgern daraus, dass weniger erfahrene Untersucher zunächst in die Anwendung der QLF eingewiesen werden sollten.

2.8.4 Intraorales Fluoreszenzkamerasystem VistaProof

Im Jahr 2007 wurde das intraorale Kamerasystem VistaProof (Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen) kommerziell erhältlich. Hierbei handelt es sich um die Intraoralkamera Vistacam des gleichen Herstellers, deren weiße LEDs allerdings durch sechs blaue Galliumnitrid- (GaN-) LEDs ersetzt wurden. Diese emittieren Licht im Bereich der so genannten Soret-Bande, genauer von 405 nm Wellenlänge, bei einer Leistung von 60 mW. Damit wird die zu beurteilende, zuvor professionell gereinigte Zahnfläche beleuchtet. Das kurzwellige, hoch-energetische Licht verursacht in gesunder Zahnhartsubstanz (Zahnschmelz sowie Dentin) eine grüne Fluoreszenz. Zonen, in denen sich Karies produzierende Bakterien häufen, erscheinen dagegen in langwelligem, niederenergetischem roten Licht. Die Ursache hierfür scheinen Metaboliten des Stoffwechsels Karies verursachender Bakterien (Porphyrine) zu sein, wie im Folgenden beschrieben wird. *Thoms* [2006] konnte nachweisen, dass gesunde Zahnhartsubstanz einen kontinuierlichen Abfall der Fluoreszenzintensität im Verlauf vom grünen bis in den roten Spektralbereich aufweist. Regionen mit

Initialkaries zeigten einen ähnlichen Verlauf, jedoch überlagert von zwei Emissionsspitzen bei ca. 635 nm (± 5 nm) und bei ca. 695 nm (± 5 nm). Diese Emissionsspitzen gleichen auffallend dem Emissionsspektrum von Porphyrinen, was den Autor zu der Annahme veranlasst, dass diese die Ursache für die rote Fluoreszenz sind. Als Grund für die geringfügigen Schwankungen in den Emissionsspektren vermutet *Thoms* [2006], dass unterschiedliche Bakterien unterschiedliche Arten von Porphyrinen produzieren. Ebenso könnten Unterschiede im Umfeld des jeweiligen Porphyrins (pH-Wert, Speichelzusammensetzung) hierfür verantwortlich sein.

Durch eine optische Linse wird ein Bild der Zahnfläche auf einen CCD-Sensor im Handstück übertragen. Vorgeschaltet ist ein optischer Langpassfilter, der den Wellenlängenbereich unterhalb von 495 nm herausfiltert. Im CCD-Sensor werden die Bilddaten in ein elektronisches Signal umgewandelt. So entstehen digitale Bilder mit einer Auflösung von 720x576 Pixeln und einer Farbintensität von 3x8 Bit. Die Bildinformation wird über eine Kabelverbindung mit einer USB 2.0-Schnittstelle an einen PC übermittelt, auf dem die Darstellung mit der Software DBSWIN (Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen) erfolgt.

Hinsichtlich der Auswertung der Bilddaten ist folgende Beobachtung von *Thoms* [2006] relevant: Eine fortgeschrittene Karies weist gegenüber einer Initialläsion eine geringere absolute Intensität der Lumineszenz auf. Dies erklärt der Autor mit einer Resorption der Porphyrinlumineszenz durch die braun gefärbte Läsion. Weiter erläutert *Thoms* [2006], dass sich bei Beleuchtung isolierter Kolonien von *Streptokokkus mutans* mit Licht von 405 nm Wellenlänge ein signifikant höherer Quotient aus roter und grüner Fluoreszenz zeige als bei Schmelz. Da *S. mutans* mit Kariesvorkommen korreliere, sei zur Beurteilung einer Läsion also nicht die absolute Lumineszenz von übergeordneter Bedeutung. Vielmehr basiert die Auswertung der Aufnahme darauf, dass das Verhältnis von roter zu grüner Fluoreszenz einen Hinweis auf Bakterienanhäufung sowie auf den Destruktionsgrad der Zahnhartsubstanz gibt [Eberhart et al., 2007] (Abb. 2.3). Die Software berechnet aus den erhaltenen Informationen einen Wert für die vorhergesagte Tiefe der Läsion, der zwischen 0 und 4 liegen kann. Dabei gibt der Hersteller für die Evaluation der Diagnosen folgende Einteilung vor: 1,0 – 1,4: Beginnende Schmelzkaries; 1,5 – 1,9: Tiefe Schmelzkaries; 2,0 – 2,4: Dentinkaries; 2,5 - >3: Tiefe Dentinkaries (Abb. 2.4).

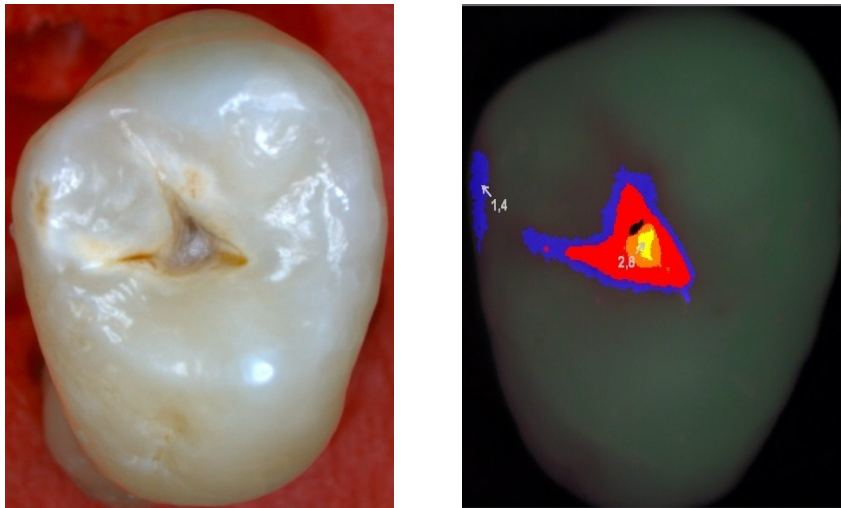


Abb. 2.3: Diagnostik der Okklusalkaries mittels VistaProof. Links: Okklusalfäche eines extrahierten Zahnes. Rechts: Auswertung des Fluoreszenzbildes. Die Werte zeigen gemäß der Skala aus Abb. 2.4 die Tiefenausdehnung der Läsion an.

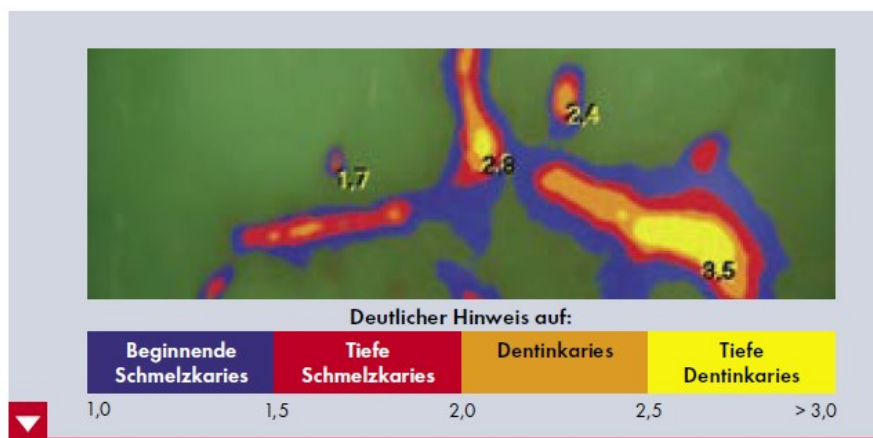


Abb. 2.4: Optische und numerische Auswertung der Kariesaktivität (Quelle: Broschüre VistaProof „Karies- und Plaquediagnostik“, Dürr Dental, 2007)

Ein wichtiger Aspekt ist, dass das 405 nm-Licht mehr als einen Millimeter weit in gesunden Schmelz und Dentin eindringen kann, um dort eine Fluoreszenz auszulösen. Fluoresziert nun eine kariöse Läsion rot, wird dieses rote Licht von der Zahnhartsubstanz nur wenig absorbiert. Eine Detektion kariöser Läsionen ist also auch unterhalb der Zahnoberfläche möglich, wenn auch mit steigendem Abstand das emittierte Licht zunehmend gestreut wird [Thoms, 2006].

Eine weitere Besonderheit der VistaProof stellt der Plaque-Modus dar. Mit dem oben beschriebenen Mechanismus können auch Bakterienansammlungen in weichen Zahnbelägen aufgedeckt werden, ebenso wie in Zahnstein [Thoms, 2006]. *Raggio et al.* [2010] beobachteten, dass VistaProof bei der Detektion zuvor angefärbter Plaque verlässliche Ergebnisse liefert.

Die angefertigten Bilder können beispielsweise dem Patienten zu Motivationszwecken auf einem Bildschirm präsentiert werden. Die Speicherung der Bilddateien und Verwaltung der Patientendatenbank mittels der Software DBSWIN erleichtert aber auch die Dokumentation und Verlaufskontrolle im Sinne eines Monitorings.

Ein Vorteil des Fluoreszenzkamerasystems gegenüber Laserfluoreszenzmethoden liegt gemäß *Thoms* [2006] darin, dass wegen der höheren Ortsauflösung die schnelle Beurteilung einer größeren Fläche möglich sei. Ebenso hebt der Autor die Bedeutung der Plaquedetektion hinsichtlich Patientenmotivation und Prophylaxemaßnahmen hervor. Weitere Vorteile gegenüber Laserfluoreszenz sieht er in der Verwendung von kürzerwelligem Licht der Soret-Bande, das die Porphyrine effizienter fluoreszieren lasse, sowie in der höheren optischen Leistung von 60 mW im Gegensatz zu unter 1 mW beim DIAGNOdent-Gerät.

Bis heute liegen nur wenige Studien zur Anwendung der VistaProof zur Kariesdetektion vor. Eine Studie von *Rodrigues et al.* [2008] beschreibt die Untersuchung von 119 extrahierten bleibenden Molaren mit einem Prototyp des VistaProof-Systems. Anschließend wurden die Zähne längs bis auf Höhe der kariösen Läsionen abgeschliffen und histologisch untersucht. Dieses Verfahren ergab für VistaProof eine Sensitivität von 0,86 und eine Spezifität von 0,63. Hinsichtlich der Reproduzierbarkeit wurden ein ungewichteter Intra-Untersucher-Kappawert von 0,61 und ein Inter-Untersucher-Kappawert von 0,58 ermittelt. Eine Studie von *Rodrigues et al.* [2011] an 97 extrahierten bleibenden Molaren mit gleicher Methodik ergab eine Sensitivität von 0,75 (D1-Niveau) bzw. 0,96 (D3-Niveau) und eine Spezifität von 0,71 (D1) bzw. 0,70 (D3). Hier wurden ein Spearman-Rangkorrelationskoeffizient von 0,58, ein Inter-Untersucher-ICC von 0,87 und ein Intra-Untersucher-ICC von 0,90 ermittelt. *Ruckhofer und Städler* [2010] stellen fest, dass das VistaProof-System bei der Detektion der okklusalen Karies ähnliche Ergebnisse erzielt wie die visuelle

Inspektion. Eine In-vitro-Studie an 129 Milchmolaren kommt zu dem Ergebnis, dass VistaProof bei der Diagnose von Okklusal- sowie Glattflächenkaries eine hohe Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit aufweist [De Benedetto et al., 2011]. *Rosen et al.* [2009] geben für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit ICC-Werte zwischen 0,81 und 0,95 und für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit einen ICC von 0,76 an. Diese gute Reproduzierbarkeit liege bei erfahrenen ebenso wie weniger erfahrenen Untersuchern vor. *Matos et al.* [2011] erreichten in einer klinischen Studie an 407 Milchmolaren auf Dentinkariesniveau Sensitivitätswerte zwischen 0,91 und 1,00 sowie Spezifitätswerte zwischen 0,88 und 0,90.

VistaProof wird mittlerweile auch auf dem amerikanischen Kontinent unter dem Namen Spectra (Air Techniques Inc., Melville, NY, USA) vertrieben. In Europa ist seit 2011 als Nachfolgemodell das Kamerasystem VistaCam iX (Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen) erhältlich. Hierbei handelt es sich um ein Handstück, dass mittels zweier Wechselköpfe sowohl als Intraoralkamera, als auch als Fluoreszenzkamera eingesetzt werden kann. Erste Studien ergeben eine hohe Korrelation zwischen VistaProof und VistaCam iX sowie visueller Untersuchung [Jablonski-Momeni et al., 2012b].

2.8.5 Fluoreszenzkamera SoproLife

Ein weiteres, auf lichtinduzierter Fluoreszenz basierendes System zur Kariesdiagnose ist die SoproLife-Kamera (Sopro-Acteon Imaging, La Ciotat, Frankreich). Hierbei wird die Zahnoberfläche mit Licht einer Wellenlänge von 450 nm (± 10 nm) beleuchtet und das entstehende Bild vom CCD-Sensor einer Kamera aufgenommen [Terrer et al., 2009]. Der Wellenlängenbereich des Fluoreszenzbildes verändert sich hierbei in Abhängigkeit von Dichte und chemischer Zusammensetzung der Zahnhartsubstanz an und unterhalb der Zahnoberfläche [Terrer et al., 2009]. Die beim Einsatz von VistaProof nachgewiesene Exzitationsbande zwischen 670 und 700 nm trat hierbei nicht auf. Dennoch zeigten sich signifikante Unterschiede in der Fluoreszenz von gesundem Dentin und aktiver sowie arretierter Karies. Dieser Effekt konnte sowohl bei der Kariesdiagnose, als auch während der Kontrolle der Kariesexkavation beobachtet werden [Terrer et al., 2010].

2.9 Kariesdiagnose mittels Röntgen

Für die Diagnose dentaler Erkrankungen sind radiologische Methoden ein geeignetes Hilfsmittel [Heinrich-Weltzien und Kühnisch, 2007]. *Raper* [1925] führte die Bissflügelaufnahme als Methode zur Darstellung kariöser Läsionen ein. Ein Vorteil dieser Aufnahmetechnik ist, dass mit nur einer Aufnahme jeweils alle Approximalräume der Molaren und Prämolaren einer Gesichtsseite erfasst werden können.

Für die Diagnose approximaler Läsionen sind Bissflügelaufnahmen die heute weit verbreitete Methode der Wahl [Heinrich-Weltzien und Kühnisch, 2007], wenn auch Ihr Nutzen erst in jüngerer Zeit breite Anerkennung fand [Heinrich-Weltzien et al., 2008]. An bis zu 50 % aller Molaren war die Diagnose versteckter, okklusaler Dentinläsionen möglich, wie vergleichende klinisch-röntgenologische Untersuchungen belegen [Weerheijm et al., 1992; Heinrich-Weltzien et al., 2001]. Problematisch an Röntgenverfahren ist, dass Grübchen- bzw. Fissurenkaries hiermit normalerweise nicht diagnostiziert werden kann, solange sie sich nicht bis ins Dentin erstreckt [Lussi et al., 2003]. Ist die Läsion aber so weit fortgeschritten, liegt eine signifikant stärkere Besiedelung mit Laktobazillen und Mutansstreptokokken vor als bei nicht röntgensichtbarer Karies [Ricketts et al., 1995b].

Wenn auch die Sensitivität radiologischer Verfahren höher ist als bei visueller Kariesdiagnose [Lussi, 1993; Wenzel, 2004], erfordert Ihr Einsatz doch wegen der Strahlenbelastung das sorgfältige Stellen einer „rechtfertigenden Indikation“ [Heinrich-Weltzien und Kühnisch, 2007]. Eine Röntgenuntersuchung darf also nur dann angewendet werden, wenn der gesundheitliche Nutzen höher ist als das Gesundheitsrisiko durch die Strahlung (§23 RöV). Beispiele für derartige Anwendungsgebiete sind neben der Kariesdiagnostik auch parodontale Erkrankungen, Endodontie, Frakturdiagnostik und die Lokalisation retinierter Zähne.

2.10 Histologische Untersuchung von Zahnhartschnitten als Goldstandard in der Kariesdiagnose

Für jedes neue System zur Kariesdiagnose gilt, dass vor der klinischen Anwendung eine Validierung durchgeführt werden muss. Als Maß muss ein sogenannter „Goldstandard“ hinzugezogen werden. Die histologische Untersu-

chung von Zahnhartschnitten ist ein bewährter Goldstandard in der Kariesdiagnose [Downer, 1975; Huysmans und Longbottom, 2004]. Eine einfache Methode zur Herstellung von Zahnhartschnitten ist die Halbierung der Zähne in der vermeintlich zu inspizierenden Ebene [Jablonski-Momeni et al., 2010]. Da hiermit jedoch nur die Beurteilung eben dieser Ebene möglich ist, bietet die Anfertigung von Serienschnitten möglicherweise mehr Vorteile. Für die aufwändigeren Serienschnitte können unterschiedliche Dicken bspw. zwischen 250 µm und 1000 µm gewählt werden. Ein solcher Zahnhartschnitt ist exemplarisch in Abbildung 2.6 dargestellt. Zur Erstellung von Zahnhartschnitten und deren digitaler makrofotographischer Reproduktion liegt ein Protokoll vor [Stachniss und Schwarzbach, 2009; Jablonksi-Momeni und Stachniss, 2010]. Diese Methode, die sich bereits bewährt hat [Jablonski-Momeni et al., 2009; Jablonski-Momeni et al., 2011a], wird in Kapitel 4.3.3 näher erläutert.



Abb. 2.6: Beispiel für einen Zahnhartschnitt

Immer wieder befassen sich Studien mit der Frage, welche Methode für die Beurteilung der Ausdehnung einer etwaigen Läsion der zuverlässigste Goldstandard ist. Neben der Inspektion mit bloßem Auge existiert eine Vielzahl von Methoden zur Befundung der Zahnhartschnitte. Beispiele sind Röntgenaufnahmen der Präparate (Mikroradiographie), aber auch das Abrastern der Schnitte mit einem fokussierten Laserstrahl (Konfokale Laser Scanning Mikroskopie) [Hintze et al., 1995; Banerjee und Boyde, 1998; Ricketts et al., 1998]. Ein weiterer Ansatz sieht vor, die Zahnhartschnitte mit Rhodamin B

vorzubehandeln. Die kariös erweichten Bereiche werden so dunkelrot angefärbt [Rodrigues et al., 2008].

Bereits *Burket* [1941] empfahl die Anwendung der Mikroskopie zur Beurteilung der Kariestiefe mit Hinweis auf den Anfang einer Karies als lediglich mikroskopisch sichtbare Läsion. *Hintze et al.* [1995] halten den Einsatz eines Stereomikroskopes bei der Einschätzung von Okklusalkaries für die Methode der Wahl. Anstelle eines Mikroskopes kann die Befundung von Zahnhartschnitten auch mit einem Makroskop erfolgen. Während der inspizierte Bereich mit einem Mikroskop sehr stark vergrößert werden kann, geht damit eine Einschränkung des Untersuchungsfeldes einher. Folglich kann nicht das gesamte Präparat auf einmal beurteilt werden. Hierin liegt ein Vorteil des Makroskopes: Zwar ist die Vergrößerung geringer, der größere Betrachtungsbereich jedoch ermöglicht die Darstellung eines gesamten Zahnhartschnittes [Stachniss und Schwarzbach, 2009]. Dieser Aspekt lässt das Makroskop zur Einschätzung der Tiefe kariöser Läsionen günstiger erscheinen.

Neben der direkten mikroskopischen Betrachtung besteht die Möglichkeit, digitale Aufnahmen der Zahnhartschnitte anzufertigen. Dies bietet zum einen Vorteile bei der Archivierung, zu anderen vereinfacht es die Weitergabe des Untersuchungsmaterials bei Studien mit mehreren Untersuchern oder Institutionen. Die Ergebnisse der Befundung digitaler Aufnahmen sind dabei mit denen direkter mikroskopischer Betrachtung vergleichbar [Jablonski-Momeni et al., 2009].

Zur Kategorisierung der Läsionstiefe liegen die bewährten Kriterien von *Downer* [1975] sowie von *Ekstrand et al.* [1997] vor. Beide Systeme bedienen sich einer Einteilung im Bezug zu Strukturen wie Zahnoberfläche, Schmelz-Dentin-Grenze und Pulpa-Dentin-Grenze. Von der kariösen Läsion ist hierbei das sklerotische Dentin zu unterscheiden, das lediglich einen Abwehrmechanismus gegen die fortschreitende Karies darstellt. In Kariesdiagnostikstudien befassten sich *Huysmans und Longbottom* [2004] auch mit der Reproduzierbarkeit bei histologischen Untersuchungen. Für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit ergaben sich Kappawerte zwischen 0,37 und 0,93, für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit zwischen 0,44 und 0,75. *Jablonski-Momeni et al.* [2009] lieferten für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit gewichtete Kappawerte von 0,80-0,86 und ungewichtete Kappawerte von 0,73-0,79. Für die Inter-

Untersucher-Reproduzierbarkeit lagen die gewichteten Kappawerte zwischen 0,69 und 0,78, die ungewichteten Kappawerte zwischen 0,58 und 0,69.

2.11 Transversale Mikroradiographie (TMR)

Ein Verfahren zur quantitativen Ermittlung des Mineralgehaltes von Zahnschmelz und Dentin ist die Transversale Mikroradiographie (TMR). Hierbei werden aus einer Probe Scheiben von etwa 100 µm Dicke geschnitten. Diese werden zusammen mit einer Eichtreppe zur Kalibrierung mit monochromatischen Röntgenstrahlen bestrahlt [Arends und ten Bosch, 1992]. Das so entstandene mikroradiographische Bild wird mittels eines Densitometers analysiert. Ein automatischer Vergleich der Graustufen mit denen der Eichtreppe ermöglicht die Bestimmung des Mineralgehalts der Probe.

Gemäß einer Studie von *ten Bosch und Angmar-Månsson* [1991] gilt die TMR als Methode der Wahl zur Mineralgehaltsbestimmung bei In-vitro-Untersuchungen. Diesen Standpunkt vertreten auch *Arends und ten Bosch* [1992] die einen Vergleich unterschiedlicher Methoden zur Analyse von De- und Remineralisation von Zahnhartsubstanzen anstellen. Die Autoren konstatieren, die TMR sei die praktikabelste Methode zur Ermittlung des Mineralsgehaltes.

2.12 Konfokale Laser Scanning Mikroskopie

Die Konfokale Laser Scanning Mikroskopie (confocal laser scanning microscope, CLSM) ist eine lichtmikroskopische Methode. Ein konventionelles Mikroskop wird hierbei mit einer Laser-Scan-Einheit und einem Detektor ausgestattet. Wird nun die Oberfläche einer Probe, z.B. eines Zahnes, durch den Strahlengang des Mikroskops mit einem Laserstrahl punktförmig abgerastert, so wird ein Teil des Laserlichtes reflektiert. Die Intensität dieses reflektierten Lichtes ist mittels des Detektors messbar.

Der konfokale Effekt jedoch ist das spezifische Charakteristikum der CLSM-Mikroskopie. Sowohl der Laserstrahl, mit dem die Probe abgefahren wird, als auch das reflektierte Laserlicht müssen eine sehr kleine Blende passieren. Das hat zu Folge, dass das jeweils vom Detektor aufgenommene Licht aus einer gleichermaßen dünnen Schärfentiefebene stammt. Das so entstehende Schnittbild verläuft parallel zur Probenoberfläche. Durch schrittweise Bewegung der Probe entlang der optischen Achse kann eine Serie von Schnittbildern

erstellt werden, die mittels entsprechender Software in ein dreidimensionales Abbild umgewandelt werden kann. Dabei ist aufgrund der geringen Größe der einzelnen Scanpunkte, die ggf. 100 nm betragen kann, eine sehr hohe Auflösung möglich. Die CLSM kann also Mikrostrukturen in der Zahnhartsubstanz unter der Oberfläche abbilden und frühe kariöse Läsionen darstellen [Duschner et al., 1997; Duschner, 2001]. Bislang findet das Verfahren lediglich in Laborstudien Anwendung.

2.13 Mikrohärtemessung

Ein weiteres Verfahren zur Ermittlung der De- und Remineralisation ist die Mikrohärtemessung. Hierbei wird ein Knoop- oder Vickers-Diamant über eine definierte Dauer hinweg auf die Probenoberfläche gedrückt [Koulourides, 1966]. So entsteht auf der Probe ein Eindruck, der mikroskopisch in μm bestimmt werden kann. *Ten Bosch und Angmar-Månsson* [1991] halten die Mikrohärtemessung zur Bestimmung der De- und Remineralisation für ein der TMR ebenbürtiges Verfahren.

3 Zielsetzung und Fragestellungen

Die Entwicklung des Kariesaufkommens ist bei Kindern und Jugendlichen sowie bei Erwachsenen in Deutschland und anderen westeuropäischen Ländern seit Jahren rückläufig [Glass, 1982; Marthaler, 2004; Pieper, 2010; Micheelis und Schiffner, 2006; Schiffner et al., 2009]. Die Gründe liegen unter anderem im veränderten Ernährungsverhalten, intensivierten Prophylaxebemühungen und insbesondere dem umfangreicheren Einsatz von Fluoriden im Rahmen systemischer (Tabletten, Trinkwasserfluoridierung, Kochsalz) oder lokaler Anwendung (Zahnpasten, Gele, Lacke) [Dünninger und Pieper, 1991; Fejerskov et al., 1996]. Dennoch bleibt Karies eine häufige Erkrankung der Mundhöhle, und insbesondere der Rückgang der Fissurenkaries ist begrenzt [Pieper, 1997; Pieper, 1998]. Die Okklusalfächen erster und zweiter Molaren sind dabei die am frühesten befallenen Flächen im bleibenden Gebiss [Hannigan et al., 2000]. Karies ist als dynamischer Prozess mit Phasen der De- und Remineralisation zu sehen [Schroeder, 1997], so dass eine Läsion fortschreiten, in der Arretierung verharren oder zurückgehen kann. Das seltenere Vorkommen von kavitierten Läsionen und die Gefahr unentdeckter, „versteckter“ Karies [Weerheijm et al., 1997] erfordern Anpassungen der diagnostischen Routine. Ein Zahnarzt muss die Karies auch in geringerer Ausprägung frühzeitig erfassen und, darauf basierend, eine Entscheidung über die richtigen Therapiemaßnahmen fällen können. Zu diesem Zweck existieren mehrere technische Verfahren, die die unumgängliche visuelle Inspektion ergänzen sollen. Eine Validierung des VistaProof-Fluoreszenzkamerasystems für die Detektion okklusaler Karies steht noch aus. Diese ist der Zweck der vorliegenden Arbeit, woraus sich folgende Fragestellungen ableiten:

- Wie korrelieren die VistaProof-Befunde mit dem Ergebnis der histologischen Untersuchung an Hartschnittpräparaten der Zähne?
- In welchem Bereich liegen die Sensitivität und Spezifität des VistaProof-Systems, gemessen am Goldstandard Histologie?
- Lassen sich Sensitivität und Spezifität des VistaProof-Systems durch eine Anpassung der Schwellenwerte gegenüber den Herstellerangaben verbessern?

4 Material und Methode

4.1 Studiendesign

Der Versuchsplan der vorliegenden Studie ist in Tabelle 4.1 abgebildet.

Tab. 4.1: Versuchsplan

Auswahl und Markierung 53 extrahierter menschlicher bleibender Seitenzähne (47 Molaren, 6 Prämolaren)
Reinigung und Fotodokumentation der Okklusalfflächen
Festlegen der Messpunkte in den Fissuren und Grübchen der Zähne
Visuelle Untersuchung der Okklusalfflächen nach den Kriterien des ICDAS-II
Fluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen mit der VistaProof
Präinfiltration und Einbetten der Zähne zusammen mit einem Messdreieck definierter Längen und Winkel in einem lichthärtenden Acrylat
Herstellung der Zahnhartschnitte (9-12 Serienschnitte je Zahn in vestibulo-oraler Richtung)
Histologische Untersuchung der Zahnhartschnitte

4.2 Material

4.2.1 Auswahl der Zähne

Für die Studie standen 53 bleibende, extrahierte Seitenzähne (47 Molaren und 6 Prämolaren) mit unterschiedlich tiefen kariösen Läsionen zur Verfügung. Vor der Extraktion war das Einverständnis der Patienten zur Verwendung ihrer Zähne zu Forschungszwecken eingeholt worden. Die Zähne wurden nach der Extraktion zunächst in gesättigter Thymol-Lösung aufbewahrt und später gründlich gereinigt (bedarfsentsprechend mit Ultraschall, Prophyflex, Zahnreinigungsbürstchen und Zircate-Reinigungspaste). Dann wurde mit einem rotierenden Instrument in jeweils eine nicht in die Beurteilung involvierte Glatthfläche (vestibulär oder oral) jedes Zahnes eine laufende Nummer

eingraviert und diese mit einem wasserfesten Stift nachgezeichnet. Anschließend wurden die Zähne in Wasser gelagert.

4.2.2 Dokumentation der Ausgangsbefunde

Um die Ausgangsbefunde zu dokumentieren, wurde jede Okklusalfäche sowie ein Glasmaßstab (10 mm) digital fotografiert (Leica Zoomsystem Z6 APO/QWin Standard V 3.4.0 Software, Leica Microsystems, Wetzlar) (Abb. 4.1). Ein Referenzuntersucher (Untersucher A) definierte pro Okklusalfäche einen bis drei Messpunkte in den Fissuren und Grübchen. Aus Tabelle 4.2 geht die Anzahl der Zähne mit einem, zwei und drei Messpunkten hervor, wobei die Summe der Messpunkte 99 betrug.

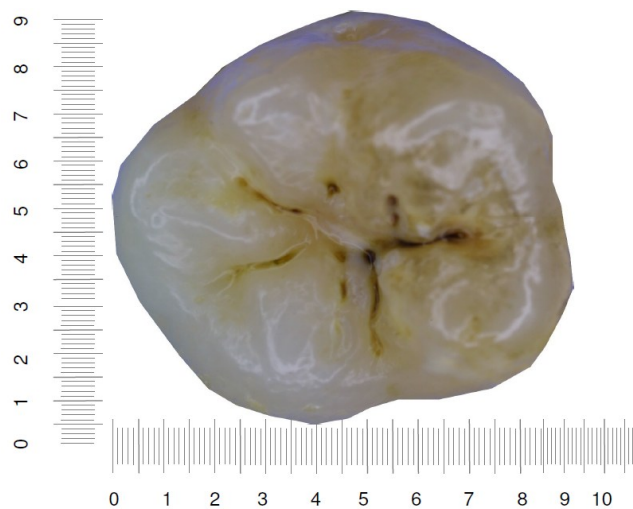


Abb 4.1: Okklusalfäche eines Zahnes mit Glasmaßstäben als Koordinatensystem

Tab.4.2: Verteilung der Messpunkte auf die Okklusalfächen der Zähne

Anz. der Messpunkte je Okklusalfäche	1	2	3
Anz. der Zähne	17	26	10
Summe der Messpunkte	99		

Für die Dokumentation der Befundung mittels visueller Inspektion, Fluoreszenz-kamera sowie der histologischen Auswertung wurden Dokumentationsbögen entworfen (Anhang I, II, III). Zur leichteren Lokalisation der Messpunkte dienten Schwarz-Weiß-Bilder der Okklusalfächen mit im gleichen Größenverhältnis

abgebildeten Glasmaßstäben als x- und y-Achsen (Abb. 4.1). Bei Zähnen mit mehreren Messpunkten wurden diese dabei jeweils auf separaten Abbildungen markiert, um eine gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Befundungen zu vermeiden.

4.3 Methode

4.3.1 Visuelle Untersuchung

4.3.1.1 Untersucherkalibrierung






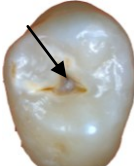
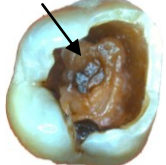
Zur Sicherstellung eines einheitlichen Standards bei der Befundung der Zähne fand zuvor eine Kalibrierung statt. Hierbei unterwies eine erfahrene Zahnärztin (Untersucher A, 10 Jahre Berufstätigkeit) einen Zahnmedizinstudenten im 10. Fachsemester (Untersucher B) theoretisch sowie praktisch im ICDAS-II-Kariesdiagnosesystem. Zunächst erfolgte ein zweistündiger Vortrag über die Einteilungskriterien der ICDAS-II-Codes. Als Beispiele wurden klinische Bilder von kariösen Zähnen gezeigt und die Relevanz selbst minimaler Veränderungen betont, da diese bereits Hinweise auf ausgedehntere histologische Befunde beinhalten können. Wichtig sei dabei auch die Untersuchung der Zähne im feuchten sowie im trockenen Zustand.

Nach der Präsentation wurden die erworbenen Kenntnisse anhand von 20 Fotografien von Okklusalfächen mit unterschiedlich ausgeprägten, kariösen Läsionen aller ICDAS-II-Scores vertieft. Wo die Diagnosen der Untersucher sich unterschieden, fand eine gemeinsame Diskussion statt. Mit der gleichen Systematik erfolgte anschließend eine Befundung von 20 extrahierten Zähnen. Nach einer unabhängigen Beurteilung wurden differierende Ergebnisse diskutiert und eine Konsensentscheidung gefällt.

4.3.1.2 Visuelle Befundung der Zähne

Die visuelle Untersuchung der Zähne nach den Kriterien des ICDAS-II-Diagnosesystems (Tab. 4.3) wurde unter standardisierter Beleuchtung vorgenommen. Untersucher A und B beurteilten unabhängig voneinander alle Zähne in zufälliger Reihenfolge und notierten die Ergebnisse in den entsprechenden Dokumentationsbögen. Die Zähne wurden stets in Wasser

Tab. 4.3: ICDAS-II-Kriterien zur Diagnose der Okklusalkaries (Quelle: ICDAS Coordinating Committee, 2009)

Code	Beschreibung	Beispiel
0	Keine sichtbare Karies nach Trocknung im Luftstrom (ca. 5 s). Veränderungen wie Schmelzhypoplasie, Fluorose, Attrition, Erosion, intrinsische und extrinsische Verfärbungen werden ebenfalls mit 0 befundet.	
1	Erste visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche, die erst nach Trocknung des Zahns sichtbar sind. Die Veränderungen können Opazitäten, weißliche oder bräunliche Verfärbungen sein und sind auf Fissuren und Grübchen beschränkt.	
2	Deutliche visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche bereits am feuchten Zahn, die sich wie folgt zeigen können: Opazitäten im Sinne einer White-Spot-Läsion und/oder bräunliche kariöse Verfärbungen in den Fissuren/Grübchen. Die Veränderungen müssen auch am getrockneten Zahn noch sichtbar sein.	
3	Demineralisation bzw. Verlust der Schmelzstruktur im Bereich der Fissuren, ohne sichtbares Dentin. Die Opazitäten und/oder bräunlichen oder schwarzen kariösen Veränderungen dehnen sich über die Grenze der Fissuren/Grübchen aus und sind auch nach Trocknung des Zahns sichtbar. Ggf. kann eine WHO-Sonde vorsichtig über den Schmelzdefekt geführt werden, um so die Diskontinuität der Schmelzoberfläche zu tasten.	
4	Schattenbildung ausgehend von kariösem Dentin, mit oder ohne Schmelzeinbruch. Die Schattenbildung ist am feuchten Zahn leichter zu diagnostizieren und kann gräulich, bläulich oder bräunlich sein.	
5	Deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin. Am getrockneten Zahn ist der Schmelzverlust am Eingang der Fissuren/Grübchen deutlich sichtbar. Ggf. kann die WHO-Sonde verwendet werden, um das freiliegende Dentin zu ertasten.	
6	Großflächige Kavitätenbildung, dabei ist das Dentin in der Breite und Tiefe des Zahns deutlich sichtbar. Mindestens die Hälfte der Schmelzoberfläche ist kariös zerstört, die Pulpa kann möglicherweise auch betroffen sein.	

aufbewahrt und nötigenfalls mit dem Luftpüster einer zahnärztlichen Multifunktionsspritze getrocknet. Vor einer erneuten Befundung erfolgte zur Rehydratation eine mindestens fünfminütige Lagerung in Wasser. Zur Ermittlung der Reproduzierbarkeit wurden die Untersuchungen von beiden Untersuchern am folgenden Tag wiederholt.

4.3.2 Untersuchung mit der fluoreszenzbasierten Kamera VistaProof

Spätestens zehn Tage nach der Extraktion der Zähne wurden die Fluoreszenzaufnahmen erstellt. Für die Untersuchung wurde das Bildverarbeitungs- und -archivierungsprogramm DBSWIN (Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen) auf einem PC installiert und die fluoreszenzbasierte Kamera VistaProof des gleichen Herstellers angeschlossen. In einem abgedunkelten Raum bei konstanter Lufttemperatur von 18-22 °C untersuchten beide Untersucher unabhängig voneinander jeweils zweimal die Okklusalfächen sämtlicher Zähne mit der VistaProof-Kamera (Abb. 4.2). Die Untersuchung wurde am gleichen Tag wiederholt, um die Reproduzierbarkeit ermitteln zu können.



Abb. 4.2: In-vitro-Versuchsaufbau VistaProof; Verwendung des langen Abstandhalters

Bei den Aufnahmen wurden die Herstellerangaben beachtet und zur Sicherung einer konstanten Distanz und einer einheitlichen Position zum Zahn stets der lange Abstandhalter verwendet (Abb. 4.2). Vor der Aufnahme wurde der jeweilige Zahn getrocknet und auf Fotoknete befestigt. Mittels der digitalen Abbildungen der Okklusalfächen wurden die markierten Messpunkte auf den Fluoreszenzaufnahmen identifiziert (Abb. 4.3; Anhang IV), um sicherzustellen, dass der gewünschte Messpunkt erfasst war.

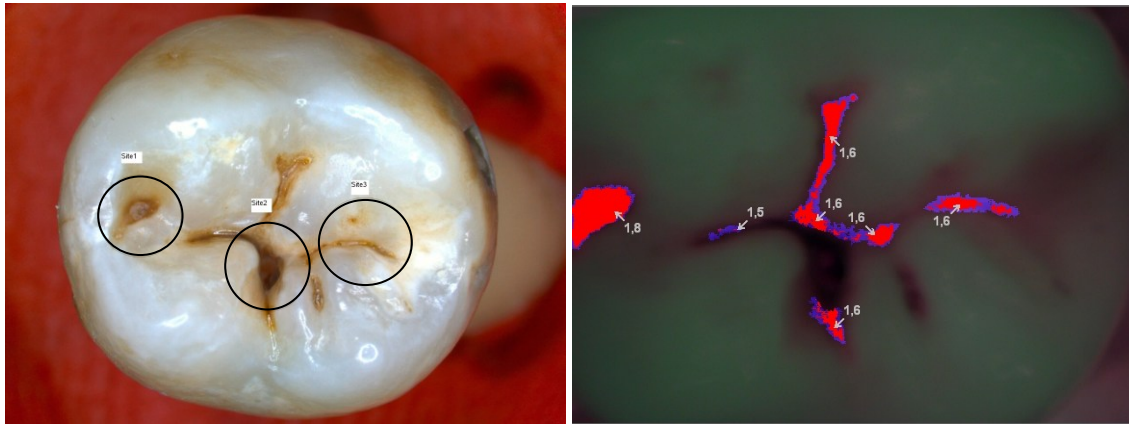


Abb. 4.3: Okklusale Fläche mit drei Messpunkten, Aufnahme der okklusalen Fläche mit VistaProof

Zur Auswertung der Fluoreszenzbilder wurde die Software DBSWIN eingesetzt. Bei Verwendung des Karies-Modus werden kariöse Läsionen visualisiert. Dabei wird die Ausdehnung einzelner Läsionen mit einem Zahlenwert auf einer Skala von 0-4 kategorisiert und dieser angegeben. Weiterhin findet eine farbliche Hervorhebung statt (Abb. 2.4 und 4.4): Grün symbolisiert gesunden Zahnschmelz, wohingegen fortgeschrittene Karies von D1 bis D4 durch die Farben Blau, Rot, Orange und Gelb angezeigt wird. Für sämtliche Messpunkte wurde unabhängig voneinander der jeweils maximale Wert abgelesen und in einem Dokumentationsbogen (Anhang II) notiert.

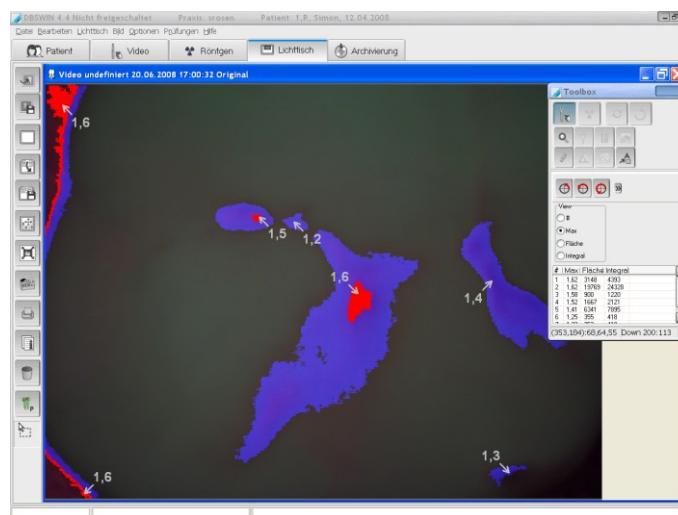


Abb. 4.4: Auswertungsbildschirm in DBSWIN

4.3.3 Histologische Untersuchung

4.3.3.1 Herstellung der Zahnhartschnitte

Die Vorbereitung der Zähne und die Herstellung der Zahnhartschnitte für die histologische Untersuchung erfolgten entsprechend dem von *Stachniss und Schwarzbach* [2009] sowie *Jablonski-Momeni und Stachniss* [2010] veröffentlichten Protokoll. Als erstes wurden ca. 1,5 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze die Wurzeln abgetrennt, um durch das so eröffnete Pulpenkavum das pulpanahe Dentin leichter zugänglich für die anschließende Dehydratation und Infiltration zu machen. Tabelle 4.4 zeigt die einzelnen Schritte der weiteren Vorgehensweise.

Tab. 4.4: Methodik zur Herstellung der Zahnhartschnitte

Entwässerung der Proben in der fünfstufigen Alkoholreihe: je 12 h in Alkohol in aufsteigender Konzentration: 40 %, 60 %, 80 %, 100 %, 100 %	
Präinfiltration in Alkohol/Acrylat (1:1), 24 h; Infiltration in Acrylat (Technovit 7200 VLC, Heraeus Kulzer), 36 h	
Zweistufige Licht-Polymerisation (Histolux, Exakt), 10 h	
Montage der Kronen, dreidimensional orientiert, zusammen mit einem Messdreieck definierter Längen und Winkel (IbiClear PVC, 0,2 mm, Ibico, USA); Einbetten der Kronen in Acrylrohre mit lichthärtendem Acrylat (Technovit 7200 VLC)	
Montage der Proben auf eine Basisplatte aus Plexiglas	
Dreidimensional orientiertes Schneiden mit einer Diamantband-Säge (Exakt) mit aufgeklebten Objektträgern der Größe 75x26x2mm	
Molaren in einer Schrittweite von 720 µm (± 30 µm) mit einem 200 µm dicken Diamantband	Prämolaren in einer Schrittweite von 500 µm (± 30 µm) mit einem 100 µm dicken Diamantband
Schleifen und Politur der histologischen Schnitte auf Carborundum Schleifpapier (Körnung 1200, 2400 und 4000, Hermes) bis zu einer Präparatdicke von 300 µm (± 30 µm) (kontrolliert mit digitalem Mikrometer, Müller)	
Eindecken der Präparate mit 135 µm dicken Deckgläschen aus Mineralglas mit Technovit 7200 VLC und 7210 VLC	

Um Bläschenbildung beim späteren Einbetten der Zahnkronen zu vermeiden, erfolgte zunächst die Entwässerung der Proben in einer fünfstufigen Alkoholreihe in aufsteigender Konzentration (40 %, 60 %, 80 %, 100 %, 100 %) für je 12 Stunden unter Agitation (Protokollblatt siehe Anhang V).

Anschließend wurden die Kronen in Alkohol/Acrylat (Verhältnis 1:1) für 24 Stunden präinfiltriert und dann mit reinem Acrylat (Technovit 7200 VLC, Heraeus Kulzer, Wehrheim) 36 Stunden lang infiltriert. Der Kunststoffinfiltration folgte eine zehnstündige Polymerisation unter sichtbarem Licht von Leuchtstoffröhren mit Tageslichtcharakter (Histolux, Fa. Kulzer EXAKT, Norderstedt).

Damit mehrere Prü fzähne gleichmäßig auf der Basisplatte montiert werden konnten und sie während des Schneidens nicht zerstört wurden, mussten die Proben einheitlich aufgesockelt werden. Hierzu wurde jeweils die mesiale Approximalfläche mit Cyanacrylatklebstoff (Pattex Sekundenkleber, Fa. Henkel, Düsseldorf) am Boden vorgefertigter Acrylglaszylinder aufgeklebt. Der Innendurchmesser der Zylinder betrug 12 mm, der Außendurchmesser 16 mm und die Höhe ca. 30 mm. Für die spätere Zuordnung der Schnittpräparate zu den entsprechenden Messpunkten wurde parallel zur Okklusalfäche der Kronen eine Messmarke auf der Montagefläche der Acrylglaszylinder befestigt. Diese bestand aus einer Farbfolie (IbiClear PVC, 0,2 mm, Ibico, USA) in Form eines rechtwinkligen Dreiecks mit definierten Längen und Winkeln.

Die so bestückten Acrylglaszylinder wurden mit lichthärtendem Acrylat (Technovit 7200 VLC) befüllt und zur Vermeidung von Blasen für einige Minuten unter Vakuum gesetzt. Nach einer erneuten Polymerisation für zehn Stunden (Histolux) wurden jeweils 16 Zylinder mittels Schraubung auf eine Basisplatte aus Plexiglas montiert, die die Maße 100 x 50 x 4 mm aufwies. Hierbei wurden die Proben in vier Reihen zu je vier Zylindern angeordnet. Die Rückseite der Basisplatte wurde in einer vorgegebenen Position auf die Vakuum-Saugplatte einer Diamantband-Säge (EXAKT 300, Fa. EXAKT, Norderstedt) aufgebracht und zur Fixierung ein Unterdruck erzeugt. Überschüssiger Kunststoff wurde nun durch einen ersten Schnitt entfernt, dessen Höhe über der Basisplatte so bemessen war, dass er die distale Approximalfläche der breitesten Zahnkrone punktförmig streifte. Die Schnittflächen der Zylinder wurden durch Schleifen und Polieren mit einem Tellerschleifgerät (Fa. EXAKT, Norderstedt) und Carborundum-Schleifpapier (Fa. Hermes, Hamburg) mit den Körnungen 1200,

2400 und 4000 von Riefen befreit. Es folgte eine Reinigung mit Spülmittel, Wasser und weicher Bürste.

Nun wurde auf jeweils vier Zylinderoberflächen ein Objektträger aus Acrylatglas mit den Maßen 75 x 26 x 2 mm mit lichthärtendem Klebstoff (Loctite 4305, Fa. Henkel, Düsseldorf) und einer Klebepresse (EXAKT 402, Fa. EXAKT, Norderstedt) aufgeklebt. Zuvor waren die jeweils vier Objektträger pro Schnittebene zur späteren Zuordnung mit einer individuellen Gravur versehen worden.

Daran schloss sich die eigentliche Herstellung der Schliffpräparate an, das Protokoll hierzu findet sich in Anhang VI. Die Diamantband-Säge schnitt die Proben in vestibulo-oraler Schnittrichtung in Scheiben (Abb. 4.5). Dabei betrug die Schrittweite für Molaren 720 μm ($\pm 30 \mu\text{m}$) bei einem 200 μm dicken Diamantband (Fa. EXAKT, Norderstedt) und für Prämolaren 500 μm ($\pm 30 \mu\text{m}$) bei einem 100 μm dicken Diamantband.



Abb. 4.5: Schneiden der Proben mit der Diamantband-Säge

Nach jedem Schneidevorgang wurden sowohl die Oberflächen der Präparate, als auch die der Zylinder nach oben genannter Methode geschliffen und poliert. Um den Substanzabtrag zu dokumentieren, erfolgte außerdem jeweils eine Messung der verbliebenen Höhe der Zylinder mittels eines digitalen Mikrometers ($\pm 1 \mu\text{m}$, Fa. Müller, Wallau). Die Präparate wurden zunächst in Glaskästchen bei 100%iger Luftfeuchtigkeit aufbewahrt. Zum Schutz der polierten Oberflächen vor Verunreinigungen und Beschädigung sowie zur Vermeidung von Austrocknung und einhergehender Schrumpfung der

Zahnhartsubstanz wurden die Präparate eingedeckt. Hierzu wurden Mineralgläschen von 135 µm Dicke und 15 mm Durchmesser (Fa. Menzel, Braunschweig) und ein Gemisch der lichthärtenden Kleber Technovit 7200 VLC und 7210 VLC unter der Klebepresse verwendet.

Pro Zahn entstanden 9-12 Serienschritte von jeweils 300 µm (± 30 µm) Dicke (Abb. 4.6). Die Objektträger mit den Präparaten wurden in dafür bestimmten Aufbewahrungskästen gelagert.

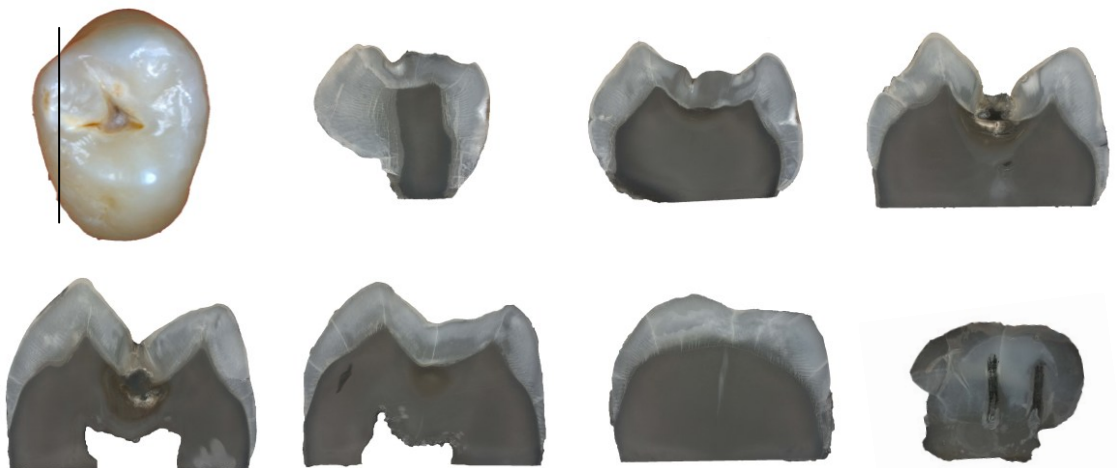


Abb. 4.6: Serienschritte mit 7 Ebenen durch einen Zahn, von der distalen Fläche beginnend (oben, Ebene 1) nach mesial geschnitten

4.3.3.2 Zuordnung der Zahnartschnitte zu den Messpunkten

Wie oben erwähnt, war parallel zur Okklusalfäche der Kronen eine Messmarke in Gestalt eines rechtwinkligen Dreiecks eingebettet worden (Abb. 4.7). Dessen Basis hatte eine Länge von $a = 9$ mm und die Höhe betrug $b = 18$ mm. Der Steigungswinkel β lässt sich über

$$\tan \beta = b/a = 18/9 = 2$$

berechnen, so dass sich für

$$\beta = \sim 63,5^\circ \text{ ergibt.}$$

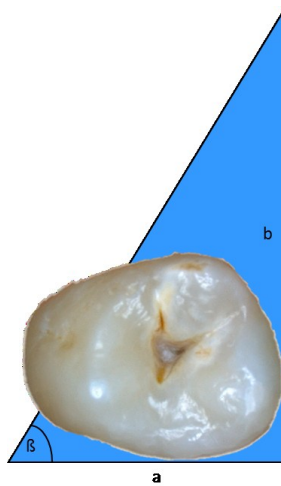


Abb. 4.7: Schematische Darstellung der Lagebeziehung des blauen Messdreiecks zum Zahn

Jedes Schliffpräparat beinhaltete also einen Abschnitt des rechtwinkligen Kunststoffdreiecks, der sich als dünne, blaue Linie darstellte (Abb. 4.8). Wird im Präparat nun die Länge der blauen Linie (ML) in mm gemessen, dient sie als indirektes Maß für den Abstand der Schnittebene zur Basis des Messdreiecks und der Montagefläche des Zahnes. Die Höhe H eines Schnittes über der Montagefläche ergibt sich aus der geometrischen Beziehung

$$H/b = (a-ML)/a,$$

nach H aufgelöst also

$$H = b \times (a-ML)/a.$$

Sind a und b bekannt, kann man diese einsetzen und erhält

$$H = 18 \times (9-ML)/9 \text{ und somit } H = 2 \times (9-ML).$$

Diese Vorgehensweise ermöglichte die eindeutige Bestimmung der Lage des histologischen Schnittes innerhalb des Zahns und die Zuordnung der Präparate zu den zu beurteilenden Messpunkten. Das Prinzip wird in Abbildung 4.8 verdeutlicht. Jedem Messpunkt konnten 1-4 Schnitte zugeordnet werden. Ein Messpunkt war nicht zu beurteilen, da die entsprechenden Präparate teilweise durch den Schneidevorgang zerstört worden waren. Insgesamt standen also

211 Zahnhartschnitte, die 98 Messpunkten zuzuordnen waren, für die histologische Untersuchung zur Verfügung.

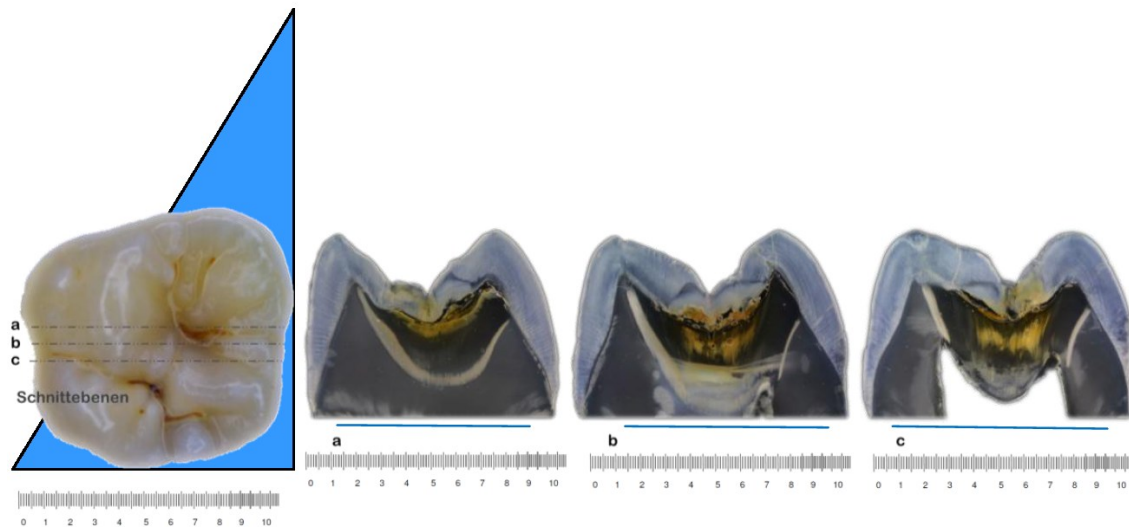


Abb. 4.8: Zuordnung von Zahnhartschnitten zur Zahnebene

4.3.3.3 Erstellung digitaler Fotografien der Schliffpräparate

Sämtliche Hartschnittpräparate wurden mit Hilfe eines Stereo-Makroskops (M 420, Wild Heerbrugg AG, Schweiz) unter Aufsicht digital fotografiert (Leica Zoomsystem Z6 APO M 420/QWin Standard V 3.4.0 Software). Mit der Software Adobe Photoshop CS4 wurde an den Aufnahmen eine Verstärkung des Kontrastes vorgenommen.

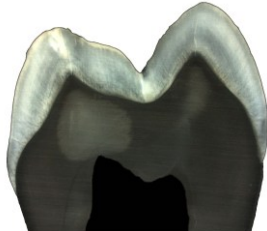
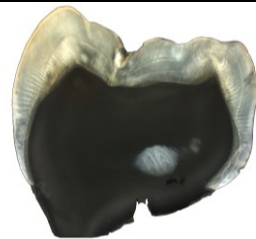
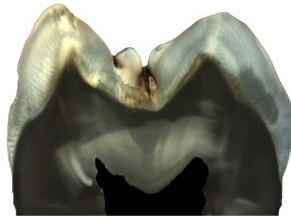
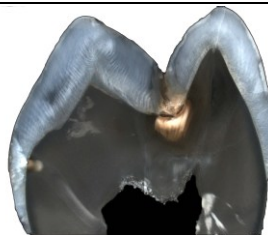

4.3.3.4 Befundung der Zahnhartschnitte

Die Befundung der Zahnhartschnitte wurde von zwei erfahrenen Untersuchern (A, C) vorgenommen. Alle korrespondierenden Zahnhartschnitte wurden an einem für die Bildbetrachtung zugelassenen 18-Zoll-Farbmonitor (FlexScan L768, EIZO, Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal) begutachtet und die Ausdehnung etwaiger Läsionen erfasst. Die Befundung der Bilder erfolgte in randomisierter Reihenfolge, wobei hinsichtlich der Läsionstiefe jeweils eine Konsensentscheidung der beiden Untersucher gefällt wurde.

Die Klassifikation der Kariesausdehnung erfolgte anhand des Index von *Downer* [1975]. Tabelle 4.5 zeigt die angewendeten histologischen Kriterien. Lediglich sklerotisch verändertes Dentin wurde nicht in die Bewertung einbezogen. Um die Reproduzierbarkeit der Untersuchung zu überprüfen,

wurden nach einer Woche von einem der erfahrenen Untersucher (Untersucher A) 30 % der histologischen Schnitte erneut befundet.

Tab. 4.5: Kriterien der histologischen Untersuchungen

Score	Kriterien nach Downer [1975]	Beispiel
0	Gesund	
1	Schmelzkaries, auf die äußere Schmelzhälfte beschränkt	
2	Schmelzkaries, bis zur inneren Schmelzhälfte erweitert	
3	Dentinkaries, auf die äußere Dentinhälfte beschränkt	
4	Dentinkaries, auf die innere Dentinhälfte erweitert	

Für die spätere statistische Auswertung wurde je Messpunkt der höchste Score, also entsprechend die tiefste Ausdehnung der Karies innerhalb der jeweils korrespondierenden Schnitte, dokumentiert. Der Dokumentationsbogen, der

Abbildungen der jeweiligen Schliffpräparate mit Markierungen der zu beurteilenden Region beinhaltet, ist als Anhang III abgebildet.

4.3.4 Datenerfassung und statistische Auswertung

Die auf Belegbögen erfassten Ergebnisse wurden in ein Tabellenkalkulationsprogramm (Microsoft Excel) eingegeben. Zur statistischen Auswertung wurden sie in das Programm SPSS, Version 14.0, überführt.

4.3.4.1 Cohens Kappa-Statistik

Als Maß für die Konstanz der einzelnen histologischen Untersuchungen wurde Cohens Kappa-Statistik [Cohen, 1968] gewählt. Hierbei wurde sowohl der einfache, als auch der gewichtete Kappa-Koeffizient berechnet. Letzterer eignet sich besser für Ordinalskalen [Cohen, 1968] und wird im Folgenden näher erläutert: Weist, wie im vorliegenden Fall, eine Skala Werte von 0 bis 4 auf, so wird eine Diskordanz zwischen den Werten 1 und 2 als weniger gravierend bewertet als eine Diskordanz zwischen 1 und 3 oder gar 1 und 4. Analog dazu werden geringen Diskordanzen kleine Gewichte beigemessen, starken Diskordanzen hingegen große Gewichte. Bestehen nun die Abweichungen aus überwiegend geringer gewichteten Werten, ergibt sich ein höherer Kappa-Wert, wohingegen sich stärker gewichtete Werte in Form eines niedrigeren Kappa-Wertes auswirken. Für die Berechnungen wurde der Cicchetti-Allison Weight mit dem Programm ComKappa (Version 1.0, Copyright 1997, Bakeman & B.F. Robinson) eingesetzt (lineare Gewichtung).

Die gewichteten sowie die ungewichteten Kappa-Werte (κ) wurden nach folgender Einteilung [Landis und Koch, 1977] bewertet: $\kappa = 0,00-0,20$ geringe, $\kappa = 0,21-0,40$ ausreichende, $\kappa = 0,41-0,60$ moderate, $\kappa = 0,61-0,80$ substantielle, $\kappa = 0,81-1,00$ fast perfekte Übereinstimmung.

4.3.4.2 Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

Die Korrelationen zwischen den Befunden der Fluoreszenzkamera einerseits und den histologischen Befunden andererseits wurden mit der Rangkorrelation nach Spearman (r_s) berechnet. Als Maßzahl für die Stärke des Zusammenhangs zwischen den Variablen (die Ergebnisse der Untersucher) dient der Korrelationskoeffizient, der mit r symbolisiert wird und zwischen -1 und +1 liegt.

Dabei bedeutet ein Betrag nahe +1 einen starken und ein Betrag nahe 0 einen schwachen Zusammenhang. Ein gegenläufiger Zusammenhang resultiert in einem negativen Korrelationskoeffizienten. Zur Beschreibung der Größe des Korrelationskoeffizienten (r_s) wurden folgende Kategorien nach *Ricketts et al.* [1998] gewählt: $r_s = 0-0,3$ geringe, $r_s = 0,3-0,7$ moderate und $r_s = 0,7-1,0$ hohe Korrelation.

4.3.4.3 Kreuztabellierung

Um die Häufigkeitsverteilung der Befunde der Fluoreszenzkamera mit der histologischen Befundung zu vergleichen, wurden Kreuztabellen erstellt. Hierbei wurden folgendermaßen vorgegangen: Zunächst wurden für die Einteilung der Fluoreszenzkameramessungen die Herstellerangaben zugrunde gelegt. Nach Ermittlung von Sensitivität und Spezifität erfolgte eine erneute Kreuztabellierung unter Verwendung neu berechneter Cut-off-Punkte.

4.3.4.4 Spezifität und Sensitivität

Anschließend wurden die Spezifität und die Sensitivität des diagnostischen Verfahrens ermittelt. Die Sensitivität beschreibt in diesem Zusammenhang die Fähigkeit eines Tests, Personen mit der fraglichen Erkrankung als erkrankt zu erkennen. Der Sensitivitätswert in Prozent stellt den prozentualen Anteil der korrekt positiven Diagnosen an der Gesamtzahl der Erkrankten [Zöfel, 2002] dar. Die Sensitivität berechnet sich folgendermaßen:

$$\text{Sensitivität} = \text{Richtig Positiv} / (\text{Richtig Positiv} + \text{Falsch Negativ})$$

Die Spezifität dagegen ist die Fähigkeit eines Tests, Personen ohne die fragliche Erkrankung als gesund zu erkennen. In Prozent angegeben, ist sie der Anteil der korrekt negativen Diagnosen an der Gesamtzahl der Nichterkrankten [Zöfel, 2002]. Die Spezifität wird folgendermaßen berechnet:

$$\text{Spezifität} = \text{Richtig Negativ} / (\text{Richtig Negativ} + \text{Falsch Positiv})$$

Dazu wurde folgende Differenzierung vorgenommen: Unter Karies auf D1-Niveau wurden Schmelz- und Dentinläsionen zusammengefasst [Fyffe et al., 2000b]. Der histologische Score 0 wurde als gesund und die Scores 1-4 als

erkrankt eingestuft. Bei der Karies auf D3-Niveau (Dentinkaries) wurden die histologischen Scores 3-4 als Dentinkaries eingestuft.

4.3.4.5 Receiver Operating Characteristic-Curves (ROC-Kurven)

Aus den ermittelten Daten zur Spezifität und Sensitivität wurden Receiver Operating Characteristic-Kurven (ROC-Kurven) gebildet. Durch das Auftragen der Sensitivität gegen (1-Spezifität) wird analysiert, wie Sensitivität und Spezifität eines diagnostischen Tests zusammenwirken [Zöfel, 2002].

Eine 45-Grad-Linie (Diagonale) wäre das Ergebnis eines diagnostischen Wertes ohne jede Aussagekraft. Je höher nun die Vorhersagekraft eines Tests ist, umso mehr steigt die ROC-Kurve bauchig in Richtung der linken oberen Ecke. Damit wächst auch die Fläche unter der ROC-Kurve (Area Under the Curve, AUC), die ein Maß für die Vorhersagekraft darstellt. Sie kann Werte zwischen 0,5 und 1 annehmen, wobei 0,5 eine vollkommen unzulängliche diagnostische Güte signalisiert. Ein AUC-Wert von 1 käme in dem idealen Fall zustande, dass Spezifität und Sensitivität jeweils bei 1 liegen [Zöfel, 2002].

Anhand der ROC-Grafik konnte dann der optimale Cut-off-Punkt (Cut-off-Wert, Trennpunkt) bestimmt werden, d.h. der Punkt, bei dem Kranke und Gesunde am besten getrennt werden. Dazu wurde derjenige Punkt auf der Kurve ausgesucht, bei dem der Abstand zur Winkelhalbierenden (o.g. 45-Grad-Linie) am größten ist. Dies ist gleichzeitig der Punkt, an dem die Summe von Sensitivität und Spezifität ihren maximalen Wert erreicht. Nach *Kingman* [1990] sollte diese Summe mindestens 160 betragen, damit ein diagnostisches Verfahren als klinisch relevant bezeichnet werden kann.

5 Ergebnisse

5.1 Visuelle Untersuchung

Die visuelle Untersuchung erfolgte durch einen erfahrenen (Untersucher A) und einen weniger erfahrenen Untersucher (Untersucher B) anhand der Kriterien des ICDAS-II für die Diagnose der okklusalen Karies (Tab. 4.3). Die daraus ermittelten Häufigkeitsverteilungen sind in Abbildung 5.1 dargestellt.

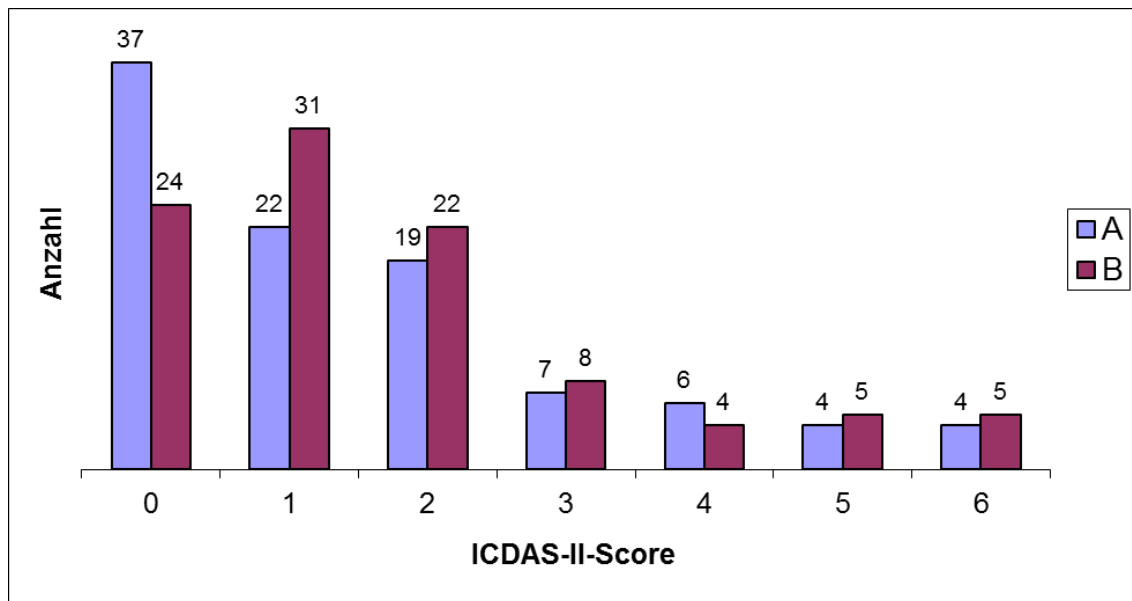


Abb. 5.1: Häufigkeitsverteilung der Ausprägung der Karies anhand der visuellen Untersuchung (ICDAS-II)

Die Häufigkeitsverteilung der visuellen Befunde stellt sich wie folgt dar: 37,4 % (A) bzw. 24,2 % (B) der untersuchten Messpunkte wiesen nach Trocknung im Luftstrom keine sichtbare Karies auf (Code 0). Erste visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche nach der Trocknung des Zahns waren bei 22,2 % (A) bzw. 31,3 % (B) der Messpunkte erkennbar (Code 1). 19,2 % (A) bzw. 22,2 % (B) der Messpunkte wiesen deutliche visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche auf (Code 2) und bei 7,1 % (A) bzw. 8,1 % (B) der Messpunkte war eine Demineralisation bzw. ein Verlust der Schmelzstruktur im Bereich der Fissuren zu erkennen (Code 3). 6,1 % (A) bzw. 4,0 % (B) der untersuchten Messpunkte zeigten eine Schattenbildung im Dentin, ausgehend von den Fissuren und Grübchen (Code 4). Bei 8,1 % (A) bzw. 10,1 % (B) der Messpunkte war eine deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin

nachweisbar bzw. es wurde eine großflächige Kavitation diagnostiziert (Code 5 und 6).

5.2 Untersuchungen mit der fluoreszenzbasierten Kamera VistaProof

5.2.1 Häufigkeitsverteilung der Fluoreszenzkamera-Befunde

Abbildung 5.2 zeigt die Verteilung der Diagnosen des VistaProof-Fluoreszenz-kamerasystems jeweils für Untersucher A und Untersucher B. Für die Kategorisierung der Diagnosen wurden die Angaben des Herstellers verwendet (siehe Kap. 2.8.4).

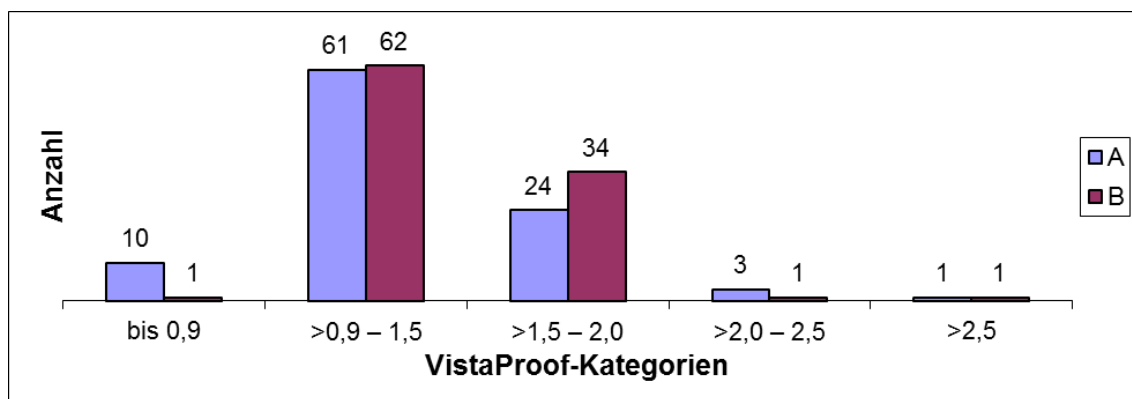


Abb. 5.2: Häufigkeitsverteilung der Diagnosen des Fluoreszenzkamerasystems VistaProof

Kariesfrei waren demnach 10,1 % (Untersucher A) bzw. 1,0 % (Untersucher B) der Messpunkte. Eine beginnende Schmelzkaries wurde in 61,6 % (A) bzw. 62,6 % (B) der Fälle diagnostiziert. An 24,2 % (A) bzw. 34,3 % (B) der Messpunkte lag laut VistaProof eine tiefe Schmelzkaries vor. Der Anteil der Messpunkte mit der Diagnose „Dentinkaries“ betrug 3,0 % (A) bzw. 1,0 % (B), während bei beiden Untersuchern lediglich 1,0 % der Messpunkte eine vermeintlich tiefe Dentinkaries aufwies.

5.3 Histologische Untersuchungen

Nachdem ein Messpunkt wegen Beschädigung der korrespondierenden Schliffpräparate nicht zu beurteilen war, betrug die Summe der auswertbaren Messpunkte 98.

5.3.1 Häufigkeitsverteilung der histologischen Diagnosen

Die Häufigkeitsverteilung der Konsensentscheidungen bei der histologischen Auswertung ist in Abbildung 5.3 dargestellt. Die Kariesausdehnung wurde auf Grundlage des Index von *Downer* [1975] klassifiziert.

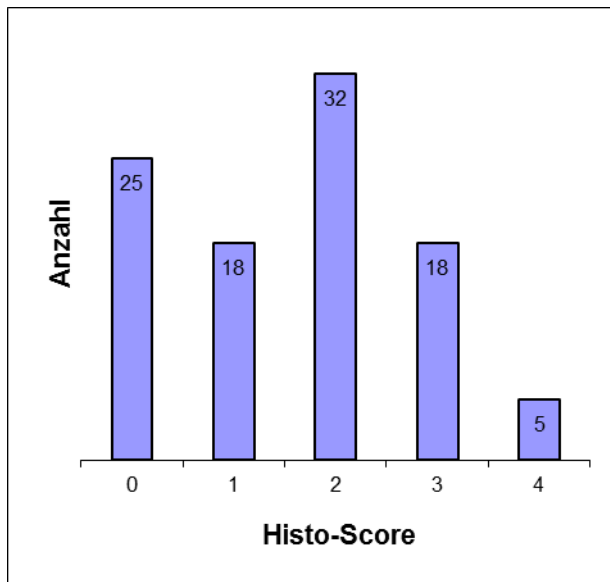


Abb. 5.3 Verteilung der histologischen Befunde nach *Downer*

Gemäß dieser Klassifikation erwiesen sich 25,5 % der Messpunkte als kariesfrei (Code 0). An 51,0 % der Messpunkte wurde Schmelzkaries diagnostiziert (Codes 1 und 2), während 23,5 % eine bis ins Dentin fortgeschrittene Läsion aufwiesen (Codes 3 und 4).

5.3.2 Reproduzierbarkeit der histologischen Untersuchungen

Zur Überprüfung der Konstanz der histologischen Untersuchung wurden 30 % der Hartschnittpräparate erneut befundet. Dabei ergab sich, dass der einfache Kappa-Wert für die Klassifikation nach *Downer* [1975] im substantiellen Bereich liegt ($\kappa = 0,68$), der gewichtete Kappa-Wert dagegen im Bereich fast perfekter Übereinstimmung ($\kappa = 0,81$).

5.4 Korrelation der Fluoreszenzkamera-Messungen mit der Histologie

Der Spearman-Korrelationskoeffizient zwischen den Fluoreszenzmessungen und den histologischen Befunden befand sich sowohl für Untersucher A ($r_s = 0,55$), als auch für Untersucher B ($r_s = 0,47$) im moderaten Bereich. Es bestand eine signifikant positive Korrelation ($p < 0,01$).

In den Tabellen 5.1 und 5.2 werden die Ergebnisse der Fluoreszenzmessungen denen der histologischen Untersuchung gegenübergestellt. Hierbei fand für die Fluoreszenzmessungen zunächst eine Kategorisierung entsprechend den Empfehlungen des Herstellers statt (Kapitel 2.8.4).

Tab. 5.1: Kreuztabelle der Fluoreszenzmessungen mit VistaProof und der histologischen Untersuchung, nach Herstellerangaben, Untersucher A

Untersucher A	Histologischer Befund					
VistaProof-Wert	0	1	2	3	4	Σ
0,0-0,9	6	3	1	-	-	10
> 0,9-1,5	18	12	21	9	-	60
> 1,5-2,0	1	2	9	9	3	24
> 2,0-2,5	-	1	1	-	1	3
> 2,5	-	-	-	-	1	1
Σ	25	18	32	18	5	98

Tab. 5.2: Kreuztabelle der Fluoreszenzmessungen mit VistaProof und der histologischen Untersuchung, nach Herstellerangaben, Untersucher B

Untersucher B	Histologischer Befund					
VistaProof-Wert	0	1	2	3	4	Σ
0,0-0,9	1	-	-	-	-	1
> 0,9-1,5	21	14	20	5	1	61
> 1,5-2,0	3	3	12	13	3	34
> 2,0-2,5	-	1	-	-	-	1
> 2,5	-	-	-	-	1	1
Σ	25	18	32	18	5	98

5.5 Ermittlung neuer Cut-off-Punkte

Bei der späteren Auswertung der Spezifität und Sensitivität zeigte sich, dass die vom Hersteller genannten Schwellenwerte für Schmelz- und Dentinkaries nicht an den Punkten der bestmöglichen Unterscheidung zwischen „gesund“ und „erkrankt“ lagen. Um eine möglichst präzise Differenzierung zu gewährleisten, wurden neue Schwellenwerte an den Punkten mit der höchsten Summe aus Sensitivität und Spezifität definiert. Diese lagen für das D1-Niveau (Schmelz- und Dentinkaries) am Trennpunkt zwischen den VistaProof-Werten 1,2/1,3 und für das D3-Niveau (Dentinkaries) am Trennpunkt 1,3/1,4. Eine Gegenüberstellung dieser Kategorien mit den histologischen Befunden findet sich in den Tabellen 5.3 und 5.4.

Tab. 5.3: Kreuztabelle der Fluoreszenzmessungen mit VistaProof und der histologischen Untersuchung (neu kategorisiert), Untersucher A

Untersucher A	Histologischer Befund					
VistaProof-Wert	0	1	2	3	4	Σ
0,0-1,2	19	10	10	1	0	40
1,3	3	3	5	2	0	13
> 1,3	3	5	17	15	5	45
Σ	25	18	32	18	5	98

Tab. 5.4: Kreuztabelle der Fluoreszenzmessungen mit VistaProof und der histologischen Untersuchung (neu kategorisiert), Untersucher B

Untersucher B	Histologischer Befund					
VistaProof-Wert	0	1	2	3	4	Σ
0,0-1,2	17	8	8	1	0	34
1,3	2	3	4	0	1	10
> 1,3	6	7	20	17	4	54
Σ	25	18	32	18	5	98

5.6 Spezifität und Sensitivität der VistaProof-Fluoreszenzkamera

Wie in Kapitel 4.3.4.4 beschrieben, wurden die Spezifität und die Sensitivität für die Fluoreszenzmessungen berechnet. Auf Grundlage der ermittelten Werte wurden Receiver Operating Characteristic-Kurven (ROC-Kurven) erstellt. Diese sind in Abbildung 5.4 für Untersucher A sowie in Abbildung 5.5 für Untersucher B zu sehen, und zwar für das D1- sowie das D3-Niveau.

Die Tabellen 5.5 und 5.6 zeigen die jeweilige Fläche unter der ROC-Kurve (Area under the Curve, AUC), das 95%-Konfidenzintervall, die Sensitivität und Spezifität sowie die Summe der beiden Werte.

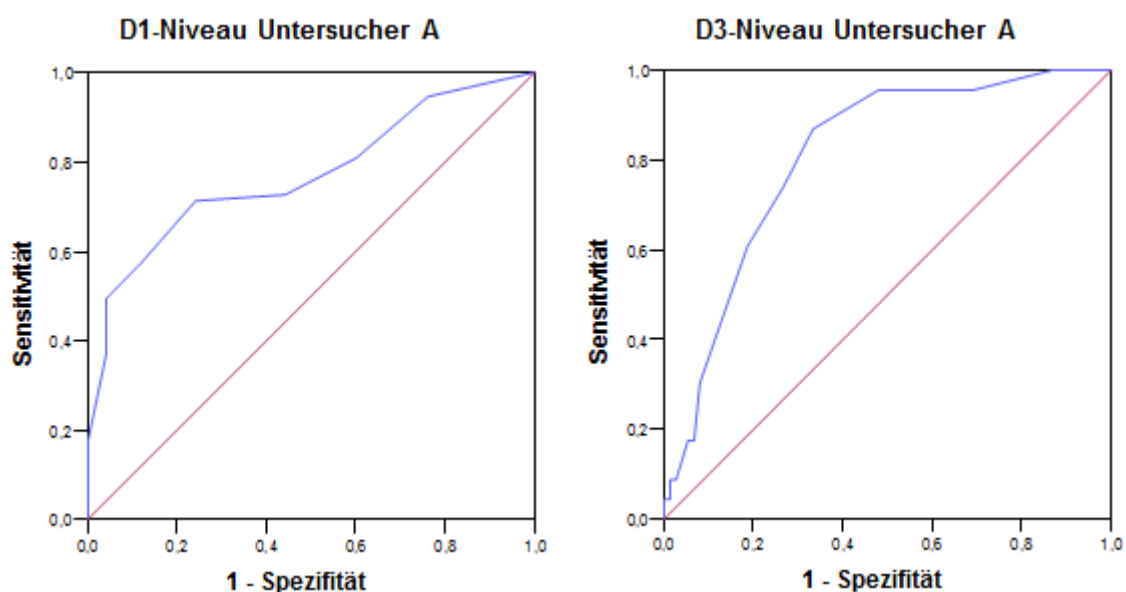


Abb. 5.4: ROC-Kurven für das D1- und D3-Niveau, Untersucher A

Tab. 5.5: Fläche unter der ROC-Kurve (Area under the Curve, AUC), 95%-Konfidenzintervall (KI), Sensitivität (SE), Spezifität (SP), Cut-off-Punkt, Summe SE+SP für VistaProof, Untersucher A

Untersucher A	AUC (95%-KI)	SE	SP	Cut-off-Punkt	\sum SE+SP [Kingman, 1990]
D ₁ *	0,77 (0,68-0,87)	0,81	0,40	0,9 / 1,0	1,21
D ₁ **		0,71	0,76	1,2 / 1,3	1,47
D ₃ *	0,81 (0,72-0,90)	0,09	0,97	2,0 / 2,1	1,06
D ₃ **		0,87	0,67	1,3 / 1,4	1,54
* Cut-off-Punkt nach Herstellerangabe					
** Cut-off-Punkt bei höchster Summe von SE und SP					

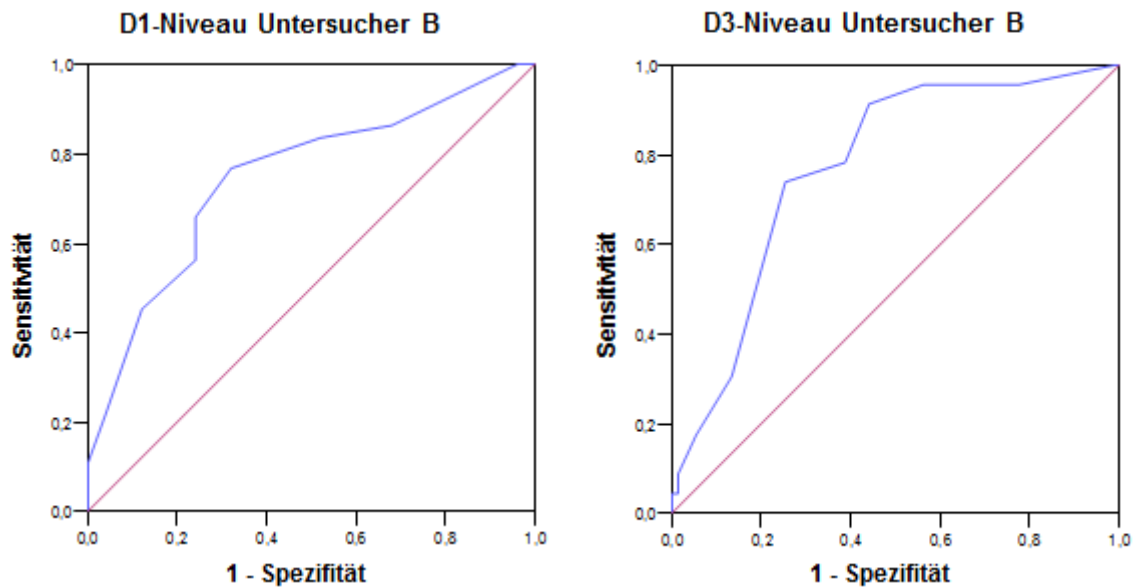


Abb. 5.5: ROC-Kurven für das D1- und D3-Niveau, Untersucher B

Tab. 5.6: Fläche unter der ROC-Kurve (Area under the Curve, AUC), 95%-Konfidenzintervall (KI), Sensitivität (SE), Spezifität (SP), Cut-off-Punkt, Summe SE+SP für VistaProof, Untersucher B

Untersucher B	AUC (95%-KI)	SE	SP	Cut-off-Punkt	\sum SE+SP [Kingman, 1990]
D ₁ *	0,75 (0,64-0,86)	0,86	0,32	0,9 / 1,0	1,18
D ₁ **		0,77	0,68	1,2 / 1,3	1,45
D ₃ *	0,77 (0,67-0,87)	0,04	0,99	2,0 / 2,1	1,03
D ₃ **		0,91	0,56	1,3 / 1,4	1,47
* Cut-off-Punkt nach Herstellerangabe					
** Cut-off-Punkt bei höchster Summe von SE und SP					

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Problemstellung

Wie bereits beschrieben, ist seit Jahren ein erheblicher Kariesrückgang nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen westeuropäischen Ländern zu beobachten [Glass, 1982; Marthaler, 2004; Pieper, 2010]. In dem Bestreben, diesen Trend durch moderne, zahnärztliche Diagnose- und Therapiekonzepte zu unterstützen und verstärken, gerät insbesondere die Okklusalkaries in den Fokus: Die Okklusalfächen erster und zweiter Molaren sind typischerweise die am frühesten befallenen Flächen der bleibenden Dentition [Hannigan et al., 2000]. Zwar sind diese Flächen für die Reinigung grundsätzlich zugänglich, die individuelle Fissurenmorphologie kann die Plaqueentfernung aber erschweren und die Bildung von Mikrobiotopen ermöglichen [Lussi et al., 1995; Laurisch, 2007].

Die visuelle Inspektion stellt nach wie vor die Basis der zahnärztlichen Untersuchung dar. Eine solche Diagnose okklusaler Läsionen wird jedoch durch Veränderungen in deren klinischem Erscheinungsbild erschwert. So wird mit dem Begriff „hidden caries“ Dentinkaries beschrieben, die von einer nur scheinbar gesunden Schmelzoberfläche bedeckt ist und sich somit visueller Detektion entziehen kann [Weerheijm et al., 1997].

Um eine frühzeitige und akkurate Diagnose zu ermöglichen, bietet sich eine Vielzahl technischer Methoden an, die in den vergangenen Jahrzehnten entwickelt wurden. Der Einsatz von Röntgenstrahlen gehört im zahnärztlichen Alltag zu den Standardverfahren, weist jedoch gewisse Schwächen auf: Beginnende okklusale Dentinkaries lässt sich mit dieser Technik nur schwer befunden [Lussi, 1996], dabei erstreckt sich eine röntgenologisch sichtbare Läsion oft bereits bis ins Dentin [Ricketts et al., 1995b]. Gerade die Unterscheidung zwischen Schmelz- und Dentinkaries aber ist für den Zahnarzt von großem Interesse. Lässt sich eine Schmelzläsion durch verbesserte Mundhygiene und geeignete Remineralisationsmaßnahmen möglicherweise in einen arretierten Zustand überführen, ist bei einer Dentinbeteiligung in der Regel invasive Intervention angezeigt. Weiterhin ist seit der Novellierung der Röntgenverordnung im Jahr 2002 (§ 23 RöV) hierfür eine „rechtfertigende Indikation“ zwingend erforderlich. Der Zahnarzt muss also die Anwendung von

Methoden mit geringerer oder keiner Strahlenbelastung erwägen, die ebenbürtige oder bessere diagnostische Qualität aufweisen können.

In jüngerer Zeit wurden verschiedene non-invasive diagnostische Hilfsmittel eingeführt bzw. weiterentwickelt, die eine möglichst frühzeitige Diagnose der Schmelzkaries und somit non-invasive bzw. minimal-invasive Therapiemaßnahmen ermöglichen sollen [Pretty und Maupome, 2004]. Hierzu gehören die faseroptische Transillumination (FOTI) sowie die elektrische Impedanzmessung mittels CarieScan Pro (CarieScan Ltd., Dundee, Großbritannien; Vertrieb in Deutschland über Orangedental GmbH & Co. KG, Biberach). Laserfluoreszenzgeräte wie das DIAGNOdent und das DIAGNOdent pen (KaVo, Biberach) treffen eine Vorhersage über die Ausdehnung etwaiger Läsionen als Momentaufnahme. Dies allerdings erschwert die Dokumentation der Messergebnisse im Sinne eines langfristigen „Monitorings“. Ein Verfahren, das diese Herausforderung bewältigt, ist beispielsweise die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenzmessung (QLF), bei der digitale Aufnahmen der Messpunkte analysiert und gespeichert werden können [Pretty und Maupome, 2004].

Diesen Vorteil weist auch das seit 2007 kommerziell erhältliche Fluoreszenz-kamerasystem VistaProof (Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen) auf. Als intraorale Kamera mit angeschlossener Software ermöglicht es die Speicherung und jederzeitige Wiedergabe der erhobenen Daten zu Monitoringzwecken. So werden Patientenkommunikation und Therapieplanung sowie, bei Verwendung des „Plaquemodus“, die Motivation und Instruktion erleichtert.

Einen Nachteil des VistaProof-Systems stellt die Anschaffung der notwendigen Hard- und Software dar. Zum Einsatz des Gerätes ist die Installation der Software auf einem Computer erforderlich, was die Mobilität einschränkt. Weiterhin ist die Anwendung für die Diagnose approximaler Karies nicht vorgesehen.

Vor dem klinischen Einsatz eines Kariesdiagnosesystems ist eine Validierung unumgänglich. Hierzu sollten im Rahmen dieser Studie die Spezifität und Sensitivität des VistaProof-Systems anhand eines Goldstandards sowie die Korrelation mit demselben ermittelt werden. Als bewährter Goldstandard bei der Kariesdiagnose wurde die Auswertung histologischer Hartschnittpräparate gewählt.

6.2 Diskussion von Material und Methode

6.2.1 Auswahl und Lagerung der Zähne

Entsprechend dem Fokus dieser Studie auf Okklusalkaries standen 53 extrahierte menschliche Seitenzähne der bleibenden Dentition zur Verfügung (47 Molaren, 6 Prämolaren). Ausgeschlossen waren gefüllte Zähne und solche mit Strukturanomalien. Vor der Extraktion war das Einverständnis der Patienten zur Verwendung der Zähne zu Studienzwecken eingeholt und schriftlich fixiert worden. Unmittelbar nach der Extraktion wurden die Zähne in gesättigter Thymollösung gelagert. Hierdurch sollten eine Austrocknung und einhergehende Veränderungen der Gewebeeigenschaften verhindert sowie unter Schonung der Zahnstruktur Bakterien- und Pilzwachstum gehemmt werden. Alternative Lagerungsmedien wären Alkohol, Formalin, Chloramin, Wasser und Natriumhypochlorit gewesen [Bader und Shugars, 2004; Francescut et al., 2006]. Die hier gewählte Thymollösung fand in der Vergangenheit bereits mehrfach Verwendung [Shi et al., 2000; Francescut und Lussi, 2003; Côrtes et al., 2003]. Thymol, natürlicher Bestandteil der ätherischen Öle aus Thymian und Oregano, liegt in ungelöstem Zustand als farbloses, stark riechendes Pulver vor, das desinfizierend, fungizid und bakterizid wirkt und gelöst somit für den vorliegenden Zweck geeignet erscheint [Adam und Christ, 1987].

Da das VistaProof-System auf Fluoreszenz basiert, ist von besonderem Interesse, wie die Lagerung der Zähne sich auf diese Eigenschaft auswirkt. Hierzu stellten *Burin et al.* [2005] fest, dass bei Lagerung extrahierter Zähne in Natriumhypochlorit schon nach 24 Stunden eine signifikante Abnahme von Laserfluoreszenz eintrat. Eine Studie von *Francescut et al.* [2006] konnte zeigen, dass auch eine Lagerung in Thymol, Formalin und Chloramin schon nach Tagen zu einer Reduktion von Laserfluoreszenz-Werten führte. Das Einfrieren der Zähne bei – 20 °C ohne eine zusätzliche Lösung hingegen hatte keinen derartigen Effekt. Die Autoren erklären die Beobachtung mit der Lösung oder chemischen Strukturveränderung von Fluorophoren, also den fluoreszierenden Verbindungen.

Dem entgegen steht eine Beobachtung von *Jablonski-Momeni et al.* [2010]: An histologischen Hartschnittpräparaten konnte nach der Lagerung in Wasser

keine systematisch reduzierte Fluoreszenz gegenüber einer ersten Messung an den Zähnen festgestellt werden.

Um eine desinfizierende Wirkung der Thymollösung zu ermöglichen, gleichzeitig aber eine Reduktion der Fluoreszenzwerte möglichst gering zu halten, wurden die Zähne in dieser Studie vor der Fluoreszenzmessung nicht mehr als zehn Tage lang gelagert. Gemäß *Francescut et al.* [2006] ist nach dieser Dauer mit einer nur geringfügigen Abnahme der Fluoreszenz bei dennoch genügender Desinfektion durch das Thymol zu rechnen.

Ein alternatives Lagerungsmedium könnte Kunstspeichel sein, wie beispielsweise von *Klimek et al.* [1982] beschrieben. Es fehlen bisher allerdings Untersuchungen zur Auswirkung von Kunstspeichel auf die Fluoreszenzeigenschaften von Zähnen.

Jeglicher Fremdeinfluss auf die Messergebnisse durch Lagerungsmedien kann vermieden werden, wenn die Fluoreszenzmessung in-vivo, also im Patientenmund durchgeführt wird. An klinischen Studien mit derartiger Vorgehensweise besteht aktuell noch Bedarf.

6.2.2 Visuelle Untersuchung

Nach wie vor ist eine visuelle Inspektion der Zähne bei der Kariesdiagnose unumgänglich und folglich das meistverwendete Diagnoseverfahren. Mit wenigen Hilfsmitteln kann so eine unaufwändige und schnelle Untersuchung erfolgen. Eine Studie von *Sheehy et al.* [2001] kommt zu dem Schluss, dass visueller Untersuchung in epidemiologischen Studien der Vorzug gegenüber Laserfluoreszenzdiagnostik zu geben sei. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass bei Reihenuntersuchungen häufig der WHO-Standard verwendet wird, dem als Maßstab das Kavitationsniveau zu Grunde liegt. Eine Karies ist demnach behandlungsbedürftig (D3-Niveau), wenn Dentin sichtbar freiliegt oder unterminierte Schmelz tastbar erweichte Schmelzränder aufweist [WHO, 1997]. Da diese Form der Karies aber zunehmend seltener vorkommt, erscheint die Verwendung neuer Indizes sinnvoll, die eine genauere Einteilung auch beginnender kariöser Läsionen sowie eine Einschätzung des Fortschreitungsgrades ermöglichen. Dies wäre die Basis für qualifizierte Therapieentscheidungen seitens des Zahnarztes.

Das siebenstufige International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) bietet die Möglichkeit einer differenzierten Kategorisierung zwischen Initial- und fortgeschrittener Karies sowie der Aktivität einer Läsion. Das visuelle Diagnosesystem ist in die Codes 0 bis 6 unterteilt, wobei die Codes 1 und 2 eine Schmelzkaries und die Codes 3 bis 6 eine Dentinkaries beschreiben [ICDAS Coordinating Committee, 2009]. Diese Unterteilung erlaubt die vereinheitlichte Erfassung kariöser Läsionen auch vor der Bildung einer Kavität [Goddon et al., 2008; Kühnisch et al., 2008]. Zu ICDAS-II liegen mehrere Studien vor, die die Validität für der Diagnose okklusaler Karies belegen [Jablonski-Momeni et al., 2008a; 2008b].

6.2.3 Fluoreszenzmessung mit der Fluoreszenzkamera VistaProof

Seit 2007 ist VistaProof (Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen) kommerziell verfügbar. Auf der Grundlage einer intraoralen Kamera nutzt es blau-violettes Licht zur Anregung, um nach Messung der erzeugten Fluoreszenz eine Kariesdiagnose an Okklusalfächen treffen zu können. Die Anwendung des VistaProof-Systems ist aktuell nur unzureichend erforscht.

De Benedetto et al. [2011] stellten einen Vergleich zwischen VistaProof und den Laserfluoreszenzgeräten DIAGNOdent und DIAGNOdent pen an. Hier zeigte sich bei der Untersuchung von Okklusalfächen von 129 Milchzähnen jeweils eine moderate bis hohe Reproduzierbarkeit. Das Fluoreszenzkamerasystem wies dabei für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit einen Intra-Class-Correlation Coefficient von ICC = 0,85, für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit von ICC = 0,81 auf, wobei zwischen VistaProof und den Laserfluoreszenzmethoden eine signifikante Korrelation vorlag. Weiterhin konnten die Autoren eine signifikante Steigerung der Fluoreszenzwerte nach einer Lufttrocknung für 15 s gegenüber nur 3 s bzw. ohne Trocknung feststellen [De Benedetto et al., 2011].

Seitens des Herstellers wurden folgende Schwellenwerte vorgegeben: 1,0 - 1,4: Beginnende Schmelzkaries; 1,5 - 1,9: Tiefe Schmelzkaries; 2,0 - 2,4: Dentinkaries; > 2,4: Tiefe Dentinkaries. Die Festlegung derartiger Schwellenwerte bedarf näherer Betrachtung: Liegt ein Schwellenwert niedrig, werden relativ viele Zähne als krank erkannt. Hierbei kommt es aber auch zur falsch positiven Bewertung gesunder Zähne. Umgekehrt werden bei einem hohen

Schwellenwert viele Messpunkte als gesund eingestuft, kariöse Zähne aber auch unzutreffend als gesund klassifiziert.

Die Wahl eines zu niedrigen Schwellenwertes würde in der praktischen Anwendung also infolge falsch positiver Diagnosen zur irrtümlichen invasiven Intervention an gesunden Zähnen führen. Dieses Risiko kann durch Anwendung eines relativ hohen Schwellenwertes gesenkt werden, was sich insbesondere in Populationen mit geringem Kariesrisiko empfiehlt [Fung et al., 2004]. Dadurch wird auch die Gefahr gemindert, durch verfärbte Fissuren eine falsche Diagnose zu erhalten.

Mit einem Prototypen der VistaProof-Kamera wurde eine Studie an 119 bleibenden Molaren durchgeführt [Rodrigues et al., 2008]. Dabei wurde eine Modifikation der Schwellenwerte mit dem Ergebnis folgender Einteilung vorgenommen: Messwerte von 0 bis 1,262 weisen auf eine gesunde Zahnfläche hin (D0), Werte zwischen 1,263 und 1,299 zeigen eine Schmelzkaries in der äußeren Schmelzhälfte an (D1), bei Werten von 1,300 bis 1,319 erstreckt sich die Karies bis in die innere Schmelzhälfte (D2), während bei Werten größer als 1,319 eine Dentinkaries vorliegt (D3, D4). Diese Kategorisierung wirft allerdings die Frage auf, ob eine Angabe von Schwellenwerten mit drei Nachkommastellen nutzbringend ist, da VistaProof lediglich Werte mit einer Nachkommastelle ausgibt. Weiterhin stellen die Autoren fest, dass die klinische Umsetzung dieser Schwellenwerte durch deren geringe Abstände erschwert, wenn nicht unmöglich gemacht wird [Rodrigues et al., 2008].

Die in dieser Studie ermittelten Sensitivitäts- und Spezifitätswerte dienten als Grundlage für die Berechnung neuer Schwellenwerte für das D1-Niveau (Schmelz- und Dentinkaries) sowie das D3-Niveau (Dentinkaries). Dabei wurden die Punkte mit der jeweils höchsten Summe aus Sensitivität und Spezifität ausgewählt, wie in Kapitel 5.5 beschrieben. Dieses Verfahren hat sich bereits bei der Untersuchung von Laserfluoreszenzgeräten bewährt [Lussi und Hellwig, 2006].

Bei der Entscheidung für oder gegen invasive Therapiemaßnahmen muss dem Behandler bewusst sein, dass Schwellenwerte immer nur eine Orientierungshilfe darstellen, die nicht als alleiniges Kriterium verwendet werden dürfen. In jedem Fall müssen der individuelle Patient und seine Kariesaktivität, Ernährungsgewohnheiten und Fluoridanamnese betrachtet werden.

6.2.4 Herstellung der Zahnhartschnitte

Zwar ist die histologische Befundung von Zähnen als Goldstandard bereits eine bewährte Methode, häufig werden jedoch die Zähne nur an den zu beurteilenden Messpunkten geteilt [Ekstrand et al., 1997; Angnes et al., 2005]. Dadurch allerdings wird das bei der Hartschnitterstellung generell vorhandene Risiko, die vermeintliche Läsion nicht präzise zu erfassen, noch verstärkt. Die komplexe Fissurenmorphologie und das kaum berechenbare, dreidimensionale Fortschreiten der Karies machen es schwer, die Schnittebene einer Hemisektion genau bei der tiefsten Ausdehnung einer Karies anzusetzen. Auf diese Weise können leicht Fehleinschätzungen entstehen.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Herstellung von histologischen Serienschnitten gewählt, um dem beschriebenen Problem zu begegnen. Diese Methode fand bereits bei *Souza-Zaroni et al.* [2006] Verwendung, wobei die Dicke der Präparate etwa 250 µm betrug. Dieser Parameter ist frei veränderbar: *Pereira et al.* [2001] beispielsweise produzierten bukkolingual ausgerichtete Serienschnitte einer Stärke von 200-300 µm.

In dieser Studie wurde das bewährte Protokoll von *Stachniss und Schwarzbach* [2009] sowie *Jablonski-Momeni und Stachniss* [2010] angewendet, wie in Kapitel 4.3.3.1 beschrieben. Die Schrittweite betrug für Molaren 720 µm (± 30 µm) mit einem 200 µm dicken Diamantband und für Prämolaren 500 µm (± 30 µm) mit einem 100 µm dicken Diamantband. Nach dem Schleifen und Polieren der Präparate hatten diese eine Dicke von 300 µm (± 30 µm). Jedem Messpunkt konnten ein bis vier Schliffpräparate zugeordnet werden. Maßgebend für die histologische Beurteilung eines Messpunktes war jeweils die tiefste Ausdehnung innerhalb der korrespondierenden Präparate. Ein eingebettetes Messdreieck diente dabei zur dreidimensionalen Orientierung innerhalb des Zahnes. Diese etwas aufwändigere Vorgehensweise hatte gegenüber der Hemisektion also zwei grundlegende Vorteile: Die Erfassung der jeweils tiefsten Ausdehnung einer Läsion konnte mit höherer Wahrscheinlichkeit erfasst werden, und die dreidimensionale Orientierung ermöglichte eine präzise Zuordnung der Präparate zu den Messpunkten.

6.2.5 Diskussion des Goldstandards Histologie

Sinn und Zweck eines jeden Kariesdiagnosesystems ist das zuverlässige

Nachweisen oder Ausschließen einer Erkrankung der Zahnhartsubstanz. Insbesondere die Sensitivität, hier also die Fähigkeit, eine Karies richtig zu erkennen, und die Spezifität, also die Fähigkeit zum korrekten Ausschließen eines kariösen Befalls, sind von Interesse. Zur Beurteilung der diagnostischen Güte eines Systems empfiehlt es sich, die Sensitivität und Spezifität zur Validierung zu ermitteln. Dabei wird als Maßstab ein sogenannter „Goldstandard“ verwendet.

Als Goldstandard für die vorliegende Untersuchung wurde die histologische Beurteilung von Zahnhartschnitten gewählt. Dieses Verfahren ist seit langer Zeit in der diagnostischen Forschung etabliert [Downer, 1975] und wird nach *Huysmans und Longbottom* [2004] am häufigsten angewendet.

In dem Bemühen, den Einfluss subjektiver Interpretation bei der Validierung auszuschließen, wurden bereits verschiedene Techniken zur Quantifikation der Karies an Zahnhartschnitten angewendet. Bereits in Kapitel 2.11 und 2.12 wurden die Mikroradiographie und die Konfokale Laser Scanning Mikroskopie (CLSM) beschrieben [Hintze et al., 1995; Banerjee und Boyde, 1998; Ricketts et al., 1998].

Burket [1941] hielt den Einsatz der Mikroskopie bei der Läsionsbeurteilung für sinnvoll, da Karies ihren Ursprung in einer „mikroskopischen“ Läsion habe. Die Befundung von Hartschnittpräparaten unter einem Stereomikroskop hat sich bewährt [Hintze et al., 1995], wobei nach optischen Veränderungen im Sinne von Opazitäten oder Verfärbungen gesucht wird.

In dieser Studie wurde eine Beurteilung digitaler Fotografien am Computerbildschirm vorgenommen, die mit Hilfe eines Stereo-Makroskopes angefertigt wurden. *Jablonski-Momeni et al.* [2009] konnten nachweisen, dass so vergleichbare Ergebnisse zur direkten mikroskopischen Befundung produziert werden. Weiterhin habe diese Technik den Vorzug, dass die gespeicherten Bilder für Multi-Center-Studien leicht an andere Einrichtungen übertragen werden können.

6.2.6 Studiendesign

Nach *Pitts* [2001] sind In-vitro-Studien grundsätzlich für Validierungszwecke geeignet. Zweifel an der Allgemeingültigkeit von In-vitro-Beobachtungen allerdings werden dort aufgeworfen, wo sich die Ergebnisse von In-vivo-Studien

von denen von In-vitro-Untersuchungen unterscheiden. Daraus wird gefolgert, dass das ideale Studiendesign zunächst eine Kariesdiagnose in-vivo und später eine erneute Auswertung derselben Flächen in-vitro beinhalten würde. Für die Extraktion des Zahnes ist selbstverständlich eine ethisch zweifelsfreie Indikation erforderlich [Pitts, 2001]. Diese Verfahrensweise geht allerdings mit einem hohen logistischen Aufwand einher.

Im vorliegenden Fall wurden im Sinne einer klassischen Laborstudie die diagnostische sowie die histologische Untersuchung in-vitro vorgenommen. Wenn auch beim diagnostischen Abschnitt eine größtmögliche Nähe zur klinischen Situation angestrebt wurde, fanden einige Faktoren keine Berücksichtigung, die durchaus Einfluss auf die Therapieentscheidung haben können. Hierzu zählen das Patientenalter, das allgemeine Kariesrisiko und die Sozialanamnese ebenso wie technische Faktoren, beispielsweise Beeinflussung des Fluoreszenzverhaltens der Zähne durch das Lagerungsmedium (siehe Kapitel 6.2.1).

Aus den Ergebnissen dieser Studie kann also nicht unmittelbar auf die In-vivo-Situation geschlossen werden. Dennoch ist vor einer In-vivo-Untersuchung eine Validierung von Material und Methode in-vitro sinnvoll, um nachfolgende klinische Untersuchungen für größtmögliche Effizienz und medizinische Aussagekraft zu modifizieren.

6.3 Diskussion der Ergebnisse

6.3.1 Häufigkeitsverteilung der ICDAS-II-Diagnosen

Bei der Betrachtung der Verteilung der visuellen Befunde fällt auf, dass der überwiegende Teil der Diagnosen im Bereich der Codes 0 bis 2 liegt. Die Diagnose „gesund“ wiesen 37,4 % (Untersucher A) bzw. 24,2 % (Untersucher B) der Messpunkte auf. Während in 49,5 % (A) bzw. 53,5 % (B) der Fälle eine Schmelzkaries diagnostiziert wurde, zeigten nur 21,2 % (A) bzw. 22,2 % (B) der Messpunkte Anzeichen einer Dentinkaries.

Ferner zeigt die Verteilung eine leichte Tendenz zu höheren Diagnosen bei Untersucher B, dem weniger erfahrenen Untersucher. Ein Grund dafür könnte sein, dass hier ein in den Studentenkursen erworbener, besonderer Eifer vorgelegen hat, keine Läsion zu übersehen.

6.3.2 Häufigkeitsverteilung der Fluoreszenzkamera-Messungen

Ungleichmäßig ist auch die Verteilung der Messergebnisse mit der VistaProof-Fluoreszenzkamera bei Verwendung der vom Hersteller genannten Schwellenwerte. Keine Karies lag demnach in 10,2 % (A) bzw. 1,0 % (B) der Fälle vor. Mit 86,7 % (A) bzw. 98,0 % (B) stark überrepräsentiert ist die Gruppe der Messpunkte mit der Diagnose „Schmelzkaries“, wohingegen an nur 4,1 % (A) bzw. 2,0 % (B) der Messpunkte eine Dentinkaries diagnostiziert wurde.

Zu dieser sehr deutlichen „Tendenz zur Mitte“ trägt möglicherweise die Definition der Schwellenwerte durch den Hersteller bei. Wie in Kapitel 6.2.3 ausgeführt, resultiert die Wahl eines niedrigen Schwellenwertes in einer hohen Sensitivität und somit tendenziell häufiger in falsch-positiven Diagnosen. Gerade an der Schwelle zwischen Schmelz- und Dentinkaries, die in der Regel den Unterschied zwischen Prophylaxemaßnahmen und invasiver Therapie ausmacht, könnte eine solche Diagnose zur unnötigen invasiven Therapie führen.

6.3.3 Häufigkeitsverteilung der histologischen Diagnosen

Die Verteilung der histologischen Diagnosen zeigt, dass etwa in der Hälfte der Fälle eine Schmelzkaries vorlag, während jeweils rund ein Viertel der Messpunkte gesund war bzw. eine Dentinkaries aufwies.

Das häufigere Vorkommen von Schmelz- gegenüber Dentinläsionen ist möglicherweise dadurch erklärbar, dass viele der Zähne aus Gründen des Platzmangels oder wegen parodontaler Erkrankungen extrahiert wurden. In diesen Fällen konnten noch keine tiefergehenden Läsionen entstehen.

6.3.4 Reproduzierbarkeit der histologischen Untersuchungen

Wie in Kapitel 5.3.2 beschrieben, ergab die erneute Befundung eines Teils der Präparate eine substantielle (einfacher Kappa-Wert) bzw. fast perfekte (gewichteter Kappa-Wert) Übereinstimmung. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen einer früheren Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2009], in der für die Inter- und Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit Kappa-Werte zwischen 0,63 und 0,90 beschrieben wurden.

Im Zusammenhang mit der Reproduzierbarkeit ist jedoch zu betonen, dass daraus noch keine Schlüsse auf die Akkuratheit einer Untersuchungsmethode gezogen werden können. Ein Diagnoseverfahren könnte beispielsweise eine

sehr hohe Reproduzierbarkeit aufweisen, obwohl es viele falsche Diagnosen liefert. Dennoch ist für eine hohe diagnostische Präzision eine hohe Reproduzierbarkeit unabdingbar.

6.3.5 Korrelation der Fluoreszenzkamera-Messungen mit der Histologie

Die Korrelation der Fluoreszenzkamera-Messungen mit den Ergebnissen der histologischen Befundung lag für beide Untersucher im moderaten Bereich ($r_s = 0,55$ bzw. $0,47$) [Ricketts et al., 1998]. *Rodrigues et al.* [2008] beschreiben eine niedrigere Korrelation zwischen einem Prototypen der VistaProof-Fluoreszenzkamera und der histologischen Untersuchung, die jedoch mit $r_s = 0,41$ ebenfalls als moderat zu betrachten ist. Insbesondere bei der Detektion von Schmelzkaries habe es dort Schwierigkeiten gegeben.

Bei Betrachtung der Kreuztabellen in der vorliegenden Studie (Tabellen 5.1 und 5.2) zeigen sich bei beiden Untersuchern Messpunkte, die von VistaProof (angewendet nach Herstellerangaben) als Schmelzkaries angegeben wurden, sich histologisch aber als Dentinläsion erwiesen. Eine mögliche Begründung hierfür wäre die Definition der Schwellenwerte durch den Hersteller, wie unter 6.2.3 beschrieben. Umgekehrt gab es aber auch Fälle mit falsch-positiver Diagnose, insbesondere im Bereich der beginnenden Schmelzkaries. Ein Grund dafür könnten verbliebene Verfärbungen der Fissuren sein, die in mehreren Studien als Ursache für falsch-positive Ergebnisse bei visueller Untersuchung oder Fluoreszenzmethoden genannt werden [Francescut und Lussi, 2003; Jablonski-Momeni et al., 2008a]. Die Konsequenzen aus derartigen Diagnosen sind im vorliegenden Fall überschaubar: Da eine Schmelzkaries im Regelfall eines weniger invasiven Therapieansatzes bedarf, wären die Folge allenfalls verstärkte Prophylaxemaßnahmen, von denen nicht nur Patienten mit erhöhtem Kariesrisiko profitieren würden [Jablonski-Momeni et al., 2008a]. Dennoch verdeutlichen diese Umstände, wie wichtig eine gründliche, professionelle Reinigung der Zähne vor der Anwendung diagnostischer Verfahren ist.

Eine mit den hiesigen Ergebnissen vergleichbare Korrelation ($r_s = 0,51$) mit der Histologie ergab sich in einer früheren Untersuchung von Laserfluoreszenzmethoden bei der Diagnose okklusaler Karies [Jablonski-Momeni et al., 2011a]. Dort zeigte sich außerdem, dass eine höhere Korrelation erzielt werden kann, wenn man die Messung direkt am histologischen Präparat vornimmt. Wenn

auch diese Beobachtungen nicht unmittelbar auf die Anwendung einer Fluoreszenzkamera zu übertragen sind, darf ein ähnlicher Effekt vermutet werden: Erklärbar wäre dies durch die von *Thoms* [2006] beschriebene Abnahme der Porphyrinlumineszenz durch die Braunfärbung der Läsion sowie die zunehmende Lichtstreuung in deren Tiefe. Auch könnte ein gewisser Einfluss der Lagerung auf die Fluoreszenzeigenschaften, wie unter 6.2.1 beschrieben, der Korrelation abträglich sein.

Während insgesamt wenige Studien zur Korrelation von Fluoreszenzmessungen mit anderen Diagnoseverfahren vorliegen, ermittelten *Gmür et al.* [2006] eine Korrelation von quantitativer lichtinduzierter Fluoreszenz (QLF) und transversaler Mikroradiographie (TMR) von $r = 0,82$.

6.3.4 Sensitivität und Spezifität der VistaProof-Fluoreszenzkamera zur Diagnose der okklusalen Karies

Unter Verwendung der für D1- und D3-Niveau ermittelten Sensitivität und Spezifität der VistaProof-Kamera wurden entsprechende ROC-Kurven für beide Untersucher erstellt. Daraus ergab sich für das D1-Niveau eine Fläche unter der ROC-Kurve von 0,77 (A) bzw. 0,75 (B). Auf D3-Niveau betrug die Fläche unter der ROC-Kurve 0,81 (A) bzw. 0,77 (B). Für dieses Niveau berichten *Rodrigues et al.* [2008] von einer geringfügig niedrigeren Fläche unter der Kurve (0,75).

Diese zunächst vielversprechenden Werte sind jedoch stets unter Berücksichtigung des individuellen Schwellenwertes zu bewerten: Bei Verwendung nach den Angaben des Herstellers lag die Sensitivität auf D1-Niveau (Cut-off-Punkt: 0,9/1,0) bei 0,81 (Untersucher A) bzw. 0,86 (Untersucher B). Für die Spezifität stehen dem deutlich geringere Werte von 0,40 (A) bzw. 0,32 (B) gegenüber. Die Fähigkeit, erkrankte Flächen als kariös zu diagnostizieren, war also höher als die Fähigkeit zum korrekten Ausschluss einer Erkrankung. Die Summe der beiden Werte liegt bei 1,21 (A) bzw. 1,18 (B).

Auf D3-Niveau (Cut-off-Punkt 2,0/2,1) zeigt sich ein umgekehrtes Bild: Bei einer niedrigen Sensitivität von 0,09 (A) bzw. 0,04 (B) ergaben sich sehr hohe Spezifitäts-Werte von 0,97 (A) bzw. 0,99 (B). Demnach konnte eine Erkrankung zwar mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden, die Fähigkeit zum korrekten Erkennen einer Karies aber war völlig unzureichend. Würde man diese Schwellenwerte als alleinige Entscheidungsgrundlage für oder gegen

invasive Therapie wählen, wäre das Resultat eine hohe Anzahl unbehandelter Dentinläsionen. Die Summe aus Sensitivität und Spezifität beträgt 1,06 (A) bzw. 1,03 (B). Wie auch auf D1-Niveau, wird der von *Kingman* [1990] geforderte Wert von 160% bzw. 1,6 weit unterschritten.

Erheblich bessere Ergebnisse konnten nach der Ermittlung neuer Schwellenwerte erzielt werden. Die Anwendung des Cut-off-Punktes 1,2/1,3 für das D1-Niveau produziert eine Sensitivität von 0,71 (A) bzw. 0,77 (B) und eine Spezifität von 0,76 (A) bzw. 0,68 (B). Gewissen Abstrichen bei der Sensitivität steht somit eine deutliche Zunahme an Spezifität gegenüber. Setzt man den Trennpunkt für das D3-Niveau bei 1,3/1,4, ergeben sich für die Sensitivität Werte von 0,87 (A) bzw. 0,91 (B). Dieser starke Gewinn an Sensitivität muss mit einer niedrigeren Spezifität von 0,67 (A) bzw. 0,56 (B) „erkauft“ werden.

Die Summe aus Sensitivität und Spezifität bei Verwendung der neuen Cut-off-Punkte liegt für das D1-Niveau bei 1,47 (A) bzw. 1,45 (B) und für das D3-Niveau bei 1,54 (A) bzw. 1,47 (B). Während dies eine deutliche Verbesserung zu den vom Hersteller genannten Schwellenwerten darstellt, wird der von *Kingman* [1990] für die Empfehlung zum klinischen Einsatz vorgeschlagene Wert von 160% bzw. 1,6 nur annähernd erreicht.

Rodrigues et al. [2008] ermittelten mit dem Prototyp der Fluoreszenzkamera auf D3-Niveau eine Sensitivität von 0,86 und eine Spezifität von 0,63. Diese Ergebnisse werden allerdings nur erzielt, wenn der Schwellenwert für Dentinkaries entsprechend der Einteilung in Kapitel 6.2.3 auf >1,319 festgelegt wird. Hierbei stellt sich die Frage, ob eine auf drei Nachkommastellen genaue Angabe der Schwellenwerte sinnvoll ist, wenn doch VistaProof lediglich Werte mit einer Nachkommastelle angibt. Auch in der vorliegenden Studie wurden neue Schwellenwerte anhand der höchsten Summen aus Sensitivität und Spezifität ermittelt, und zwar für das D1- und das D3-Niveau. Die Berechnung erfolgte auf eine Nachkommastelle genau, was in Kategorien von 0,0-1,2 für die Diagnose „gesund“, 1,3 für Schmelzkaries und >1,3 für Dentinkaries resultierte. Vergleicht man dies mit den Aussagen der Studie von *Rodrigues et al.* [2008], so wird dort ein VistaProof-Wert von >1,319 mit dem Vorliegen einer Dentinkaries in Verbindung gebracht, was sich im weitesten Sinne mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie deckt. Weiterhin beschreiben *Rodrigues et al.* [2008] nach der Neuberechnung recht dicht beieinander liegende Cut-off-

Punkte für das D1- und das D3-Niveau, ein Effekt, der auch in der vorliegenden Studie zu beobachten war. In einer späteren Studie von *Rodrigues et al.* [2011] werden andere Schwellenwerte verwendet, was die Kategorien 0-1,2 (gesund), 1,2-1,4 (Schmelzkaries) und >1,4 (Dentinkaries) ergibt. Wie in Kapitel 2.8.4 beschrieben, resultiert dies in leicht erhöhten Werten bei Sensitivität und Spezifität. Die Autoren ziehen den Schluss, dass eine weitere Verbesserung der Cut-off-Werte nötig sei [Rodrigues et al., 2011]. Recht hohe Werte für Sensitivität (1,00/0,91) und Spezifität (0,90/0,88) auf D3-Niveau bringen auch *Matos et al.* [2011] hervor. Als Cut-off-Wert für Dentinkaries wurde hier >1,4 verwendet. Die Autoren merken an, dass die Ergebnisse nicht auf die bleibende Dentition zu übertragen seien, da wegen unterschiedlicher Schmelzdicke und Beschaffenheit bei Milchzähnen seltener mit unentdeckten Dentinläsionen zu rechnen sei.

6.4 Schlussfolgerung und klinische Relevanz

Zwischen den Messergebnissen der VistaProof-Fluoreszenzkamera und der histologischen Untersuchung zeigt sich eine moderate Korrelation. Die Betrachtung der Sensitivität und Spezifität, gemessen am Goldstandard Histologie, erfordert die Berücksichtigung der individuellen Schwellenwerte. Legt man die Einteilung der VistaProof-Diagnosen nach Herstellerangaben seiner Therapieentscheidung zu Grunde, kann Schmelzkaries mit hoher Wahrscheinlichkeit richtig diagnostiziert werden. Bezüglich der Dentinkaries aber folgt daraus eine sehr konservative Vorgehensweise, bei der unentdeckte und folglich unbehandelte Dentinläsionen nicht auszuschließen sind. Die diagnostische Aussagekraft wird deutlich erhöht, wenn die Schwellenwerte entsprechend der jeweils höchsten Summe aus Sensitivität und Spezifität definiert werden, wie in der vorliegenden Studie geschehen. Allerdings liegen diese Summen auch dann noch unterhalb des von *Kingman* [1990] geforderten Mindestwertes zum klinischen Einsatz eines Diagnoseverfahrens.

Insbesondere in der studentischen Ausbildung scheint ein geeigneter Einsatzbereich des VistaProof-Systems zu liegen, da sich zwischen erfahrenen und weniger erfahrenen Untersuchern keine statistisch signifikanten Unterschiede zeigen [Rosen et al., 2009]. Hierin liegt auch ein Vorteil gegenüber dem technisch ähnlichen QLF-Verfahren, bei dem die Intra-

Untersucher-Reproduzierbarkeit von der Erfahrung des Untersuchers abhängig ist [Pretty et al., 2002].

Hinsichtlich des Goldstandards Histologie kann angemerkt werden, dass für eine Therapieentscheidung nicht nur die histologische Ausdehnung einer Läsion von Relevanz ist, sondern auch der histologisch möglicherweise schwer zu beurteilende Demineralisationsgrad und das Ausmaß der bakteriellen Besiedelung innerhalb der Läsion.

Nicht nur deshalb, sondern beispielsweise auch wegen der unter 6.2.1 beschriebenen, möglichen Veränderungen der Fluoreszenzeigenschaften, lässt sich aus der vorliegenden Validierungsstudie nicht unmittelbar auf die klinische Anwendung schlussfolgern. Auf Grundlage der hier geschilderten Ergebnisse empfehlen sich weitergehende In-vivo-Studien. Dabei sind insbesondere eine eingehendere Überprüfung der vom Hersteller angegebenen Schwellenwerte für die Läsionstiefen und ggf. eine Neudefinition anzuraten.

Es bleibt festzuhalten, dass die aus dieser Studie hervorgehenden Ergebnisse auf einer begrenzten Datenmenge beruhen. Bei zukünftigen In-vivo-Studien wäre wünschenswert, die Anzahl der Messpunkte sowie der Untersucher zu erhöhen.

Für die Diagnose der Okklusalkaries existiert eine Vielzahl diagnostischer Methoden, von denen jede ihre charakteristischen Eigenschaften, Vorzüge, Schwächen und einen individuellen Indikationsbereich hat. Im Streben nach einer möglichst präzisen Erfassung okklusaler Läsionen bietet sich die Kombination verschiedener Verfahren an [Ricketts et al., 2002; Souza-Zaroni et al., 2006]. Ein Vergleich unterschiedlicher Kombinationsmöglichkeiten zwischen visueller Inspektion und technischen Verfahren ergab, dass okklusale Karies am zuverlässigsten zu diagnostizieren ist, wenn das ICDAS-II-System mit Bissflügelaufnahmen verbunden wird [Rodrigues et al., 2008]. Da Röntgenaufnahmen aber immer mit einer gewissen Strahlenbelastung einhergehen, sollte deren Indikationsstellung sorgfältig abgewogen werden. Die vorherige, gründliche visuelle Untersuchung und der Einsatz von Laserfluoreszenzverfahren beispielsweise können dazu beitragen, unnötige Strahlenbelastung zu verhindern [Heinrich-Weltzien et al., 2002].

Das VistaProof-Fluoreszenzkamerasystem könnte ein wertvolles Hilfsmittel bei der objektiven Karieserfassung und der Verlaufskontrolle sein, ebenso wie bei

der Kommunikation mit dem Patienten und dessen Motivation. Dabei ist das Gerät für erfahrene Untersucher sowie in der studentischen Ausbildung gleichermaßen anwendbar.

7 Zusammenfassungen

7.1 Zusammenfassung

Zur Sensitivität und Spezifität der digitalen Fluoreszenzkamera VistaProof für die Detektion der okklusalen Karies

Problemstellung: Die adäquate und frühzeitige Diagnose der Zahnkaries stellt eine Herausforderung im zahnärztlichen Alltag dar. Wegen des allgemeinen Trends zum Kariesrückgang sind zunehmend subtilere Diagnoseverfahren nötig, mit denen sich zum Beispiel auch Initialläsionen erfassen lassen. Außer der visuellen Untersuchung stehen weitere apparative Verfahren für die Detektion der Zahnkaries zur Verfügung. **Ziel:** Die vorliegende Studie zielte darauf ab, Sensitivität und Spezifität des Fluoreszenzkamerasystems VistaProof bei der Detektion der okklusalen Karies zu ermitteln. Als Goldstandard wurde die histologische Untersuchung von Hartschnittpräparaten gewählt. **Material und Methode:** 53 extrahierte Zähne (47 Molaren und 6 Prämolaren) standen für die Studie zur Verfügung. Vor der Extraktion war die Zustimmung der Patienten zur Nutzung der Zähne für Forschungszwecke eingeholt worden. Nach dem Reinigen der Zähne wurden digitale Fotos der Okklusalflächen angefertigt, auf denen jeweils 1-3 Messpunkte markiert wurden (n=99). Alle Messpunkte wurden von zwei Untersuchern visuell nach dem ICDAS-II-Verfahren befundet. Anschließend wurden die Zähne mit dem Fluoreszenzkamerasystem VistaProof von beiden Untersuchern unabhängig voneinander untersucht. Hierbei wurden digitale Aufnahmen der Okklusalflächen erstellt und durch die dazu gehörige Software analysiert. Für die histologische Untersuchung wurden die Zahnkronen in vestibulo-oraler Richtung in Scheiben geschnitten. Dabei entstanden je Zahn 9-12 Hartschnitte mit einer Dicke von 300µm (\pm 30 µm). Die Läsionstiefe wurde von beiden Untersuchern mikroskopisch unter Auflicht beurteilt. Die statistische Auswertung wurde mit SPSS, Version 14.0, durchgeführt. Die Korrelation zwischen den Fluoreszenzmessungen und den histologischen Befunden wurde mit Spearmans Korrelationskoeffizienten ermittelt. Sensitivität und Spezifität wurden auf dem D1- (Schmelz- und Dentinkaries) und dem D3-Niveau (Dentinkaries) berechnet und Receiver Operating Characteristic (ROC)-Kurven

gebildet. **Ergebnisse:** Der Spearman-Korrelationskoeffizient lag für beide Untersucher im moderaten Bereich ($r_s = 0,55$ bzw. $0,47$). Es bestand eine signifikant positive Korrelation ($p < 0,01$). Entsprechend der jeweils höchsten Summe aus Sensitivität und Spezifität wurden die Cut-off-Punkte für das D1-Niveau auf $0,9/1,0$ und für das D3-Niveau auf $1,3/1,4$ festgelegt. Auf D1-Niveau lag die Sensitivität für Untersucher A bei $0,71$ und für Untersucher B bei $0,77$. Die Spezifität betrug $0,76$ (A) bzw. $0,68$ (B). Auf D3-Niveau wurden Sensitivitätswerte von $0,87$ (A) bzw. $0,91$ (B) und Spezifitätswerte von $0,67$ (A) bzw. $0,56$ (B) ermittelt. Die Fläche unter der ROC-Kurve betrug auf D1-Niveau $0,77$ (A) bzw. $0,75$ (B) und auf D3-Niveau $0,81$ (A) bzw. $0,77$ (B). **Diskussion und Schlussfolgerung:** Zwischen den Messergebnissen der VistaProof-Fluoreszenzkamera und der histologischen Untersuchung zeigt sich eine moderate Korrelation. Hinsichtlich der Sensitivität und Spezifität wird die diagnostische Aussagekraft deutlich erhöht, wenn die Schwellenwerte entsprechend der jeweils höchsten Summe aus Sensitivität und Spezifität definiert werden. Das VistaProof-Fluoreszenzkamerasystem scheint ein wertvolles Hilfsmittel bei der objektiven Karieserfassung und der Verlaufskontrolle zu sein, ebenso wie bei der Kommunikation mit dem Patienten und dessen Motivation. Dabei ist das Gerät für erfahrene Untersucher sowie in der studentischen Ausbildung gleichermaßen anwendbar. In weiterführenden In-vivo-Studien sollten die vom Hersteller angegebenen Schwellenwerte für die Läsionstiefen überprüft und gegebenenfalls neu definiert werden. Es empfiehlt sich dabei, die Anzahl der Messpunkte sowie der Untersucher zu erhöhen, um die Datenmenge zu erweitern.

7.2 Summary

Sensitivity and Specificity of the Fluorescence Based Camera System VistaProof for the Detection of Occlusal Caries

Aim: The accurate and timely diagnosis of dental caries is an everyday challenge for dental practitioners. Due to caries decline, there is an increasing need for more subtle diagnostic methods able to e.g. detect initial lesions. In addition to visual inspection, several methods including radiography, laser or light fluorescence based techniques and electrical impedance measurements are available. The aim of this study was to assess the sensitivity and specificity of the fluorescence based camera VistaProof in the detection of occlusal caries. Histological evaluation after serial sectioning was used as the gold standard.

Material & Methods: 53 freshly extracted human teeth (47 molars, 6 pre-molars) were available for this study. Prior to extraction, informed consent had been obtained from the patients about the use of the teeth for research purposes. After the teeth had been cleaned, the occlusal surfaces were photographed and 1-3 investigation sites per surface were marked in the digital images (n=99). All investigation sites were visually inspected according to the ICDAS-II-criteria by two examiners. Afterwards, both examiners independently examined the teeth using the fluorescence based camera system VistaProof. For this purpose, digital images were taken and analyzed by the appropriate software. The teeth were then serially sectioned in a vestibulo-oral direction for the histological examination, resulting in 9-12 slices per tooth with a thickness of 300µm (\pm 30 µm) each. Lesion depth was assessed by both examiners using microscopy. **Statistics:** The statistical evaluation was carried out with SPSS, version 14.0. Correlation between the fluorescence measurements and the histological results was determined by means of Spearman's rank correlation coefficient. Sensitivity and specificity were assessed at D1- (enamel and dentin caries) and D3-level (dentin caries), and receiver operating characteristic (ROC) curves were generated. **Results:** Spearman's rank correlation coefficient was moderate for both examiners (r_s = 0.47 and 0.55) and there was significant positive correlation (p < 0.01). The cutoff-limits were defined according to the highest sum of sensitivity and specificity at each threshold, resulting in the

1.2/1.3 cutoff for D1-level and the 1.3/1.4 cutoff for D3-level. At the D1 diagnostic threshold, sensitivity was 0.71 (Examiner A) and 0.77 (Examiner B) while specificity was 0.76 (A) and 0.68 (B). At the D3 diagnostic threshold, sensitivity values were 0.87 (A) and 0.91 (B). Specificity was 0.67 (A) and 0.56 (B). The areas under the receiver operating characteristic curves were 0.77 (A) and 0.75 (B) at D1-level, while they were 0.81 (A) and 0.77 (B) at D3-level.

Conclusion: Between the fluorescence based and the histological examinations, moderate correlation could be observed. Concerning sensitivity and specificity, the diagnostic performance can be improved by defining the cutoff-limits according to the highest sum of sensitivity and specificity at D1- and D3-level. The fluorescence based camera system VistaProof appears to be a valuable tool for the objective caries detection and for monitoring purposes as well as motivating patients and communicating with them. The system is equally applicable by experienced examiners and in student education. In order to further investigate and, if necessary, redefine the cutoff-limits provided by the manufacturer, in-vivo studies should be conducted. For follow-up studies it would be useful to involve more examiners and investigation sites to acquire more data.

8 Literaturverzeichnis

1. Adam D, Christ W: Antibiotika und Chemotherapeutika. Pharmakologie und Toxikologie. BI Wissenschaftsverlag Mannheim 1987.
2. Ando M, Hall AF, Eckert GJ, Schemehorn BR, Analoui M, Stookey GK: Relative ability of laser fluorescence techniques to quantitate early mineral loss in vitro. *Caries Res* 31, 125-131 (1997).
3. Angnes V, Angnes G, Batisttella M, Grande RHM, Loguerico AD, Reis A: Clinical effectiveness of laser fluorescence, visual inspection and radiography in the detection of occlusal caries. *Caries Res* 39, 490-495 (2005).
4. Arends J, ten Bosch JJ: Demineralization and remineralization evaluation techniques. *J Dent Res* 71 (Spec Iss), 924-928 (1992).
5. Bader JD, Shugars DA: A systematic review of the performance of a laser fluorescence device for detecting caries. *J Am Dent Assoc* 135, 1413-1426 (2004).
6. Banerjee A, Boyde A: Autofluorescence and mineral content of carious dentine: scanning optical and backscattered electron microscopic studies. *Caries Res* 32, 219-226 (1998).
7. Buchalla W, Attin T, Niedmann Y, Niedmann PD, Lennon AM: Porphyrins are the cause of red fluorescence of carious dentine: verified by gradient reversed-phase HPLC (Abstract). *Caries Res* 42, 223 (2008).
8. Burin C, Loguericio AD, Grande RH, Reis A: Occlusal caries detection: a comparison of a laser fluorescence system and conventional methods. *Pediatr Dent* 27, 307-312 (2005).
9. Burket LW: The accuracy of clinical and roentgenologic diagnosis of dental caries as determined by microscopic studies. *J Dent Res* 20, 71-76 (1941).
10. Carvalho JC, Ekstrand KR, Thylstrup A: Dental plaque and caries on occlusal surface of first permanent molars in relation to stage of eruption. *J Dent Res* 68, 773-779 (1989).
11. Chesters RK, Pitts NB, Matuliene G, Kvedariene A, Huntington E, Bendinskaite R, Balciuniene I, Matheson JR, Nicholson A, Gendvilyte A, Sabalaite R, Ramanauskiene J, Savage D, Mileriene J: An abbreviated caries clinical trial design validated over 24 months. *J Dent Res* 81, 637-640 (2002).
12. Cohen J: Weighted kappa: nominal scales agreement with provision for scaled disagreement on partial credit. *Psychol Bull* 70, 213-220 (1968).
13. Côrtes DF, Ekstrand KR, Elias-Boneta AR, Ellwood RP: An in vitro Comparison of the Ability of Fibre-Optic Transillumination, Visual Inspection and Radiographs to Detect Occlusal Caries and Evaluate Lesion Depth. *Caries Res* 34, 443-447, (2000).

14. Côrtes DF, Ellwood RP, Ekstrand KR: An in vitro Comparison of a Combined FOTI/Visual Examination of Occlusal Caries with Other Caries Diagnostic Methods and the Effect of Stain on Their Diagnostic Performance. *Caries Res* 37, 8-16 (2003).
15. Crabb HSM: Fissures at risk. *Br Dent J* 140, 303-307(1976).
16. De Benedetto M, Carvalho Morais C, Fernandes Novaes T, de Almeida Rodrigues J, Minatel Braga M, Medeiros Mendes F: Comparing the reliability of a new fluorescence camera with conventional laser fluorescence devices in detecting caries lesions in occlusal and smooth surfaces of primary teeth, *Lasers Med Sci* 26:157–162 (2011).
17. Downer MC: Concurrent validity of an epidemiological diagnostic system for caries with the histological appearance of extracted teeth as validating criterion. *Caries Res* 9, 231-246 (1975).
18. Dünninger P, Pieper K: Ergebnisse zur Prävalenz von Karies und Dentalfluorose. Mundgesundheitszustand und Verhalten in Deutschland. Ergebnisse des Nationalen IDZ Survey 1989. Deutscher Ärzteverlag Köln 1991.
19. Duschner H, Götz H, Øgaard B: Fluoride-induced precipitates on enamel surface and subsurface areas visualised by electron microscopy and confocal laser scanning microscopy. *Eur J Oral Sci* 105, 446-472 (1997).
20. Duschner H: Die dreidimensionale Darstellung mikroskopischer Strukturen mit CLSM. *Zahnärztl Mitt* 91, 24-27 (2001).
21. Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA: Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Res* 31, 224-231 (1997).
22. Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Kidd EAM, Qvist V, Schou S: Detection, diagnosing, monitoring and logical treatment of occlusal caries in relation to lesion activity and severity: an in vivo examination with histological validation. *Caries Res* 32, 247-254 (1998).
23. Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA: Occlusal caries: pathology, diagnosis and logical management. *Dent Update* 28, 380-387 (2001).
24. Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Longbottom C, Pitts NB: Visual and tactile assessment of arrested initial enamel carious lesions: an in vivo pilot study. *Caries Res* 39, 173-177 (2005).
25. Fennis-le YL, Verdonschot EH, Burgersdijk RC, König KG, van't Hof MA: Effect of 6-monthly applications of chlorhexidine varnish on incidence of occlusal caries in permanent molars: a 3-year study. *J Dent* 26, 233-238 (1998).
26. Feyerskov O, Ekstrand K, Burt BA: Fluoride in Dentistry. Levin und Munksgaard, Kopenhagen 1996.

27. Francescut P, Lussi A: Correlation between fissure discoloration, Diagnodent measurements, and caries depth: an in vitro study. *Pediatr Dent* 25, 559-564 (2003).
28. Francescut P, Zimmerli B, Lussi A: Influence of different storage methods on laser fluorescence values: a two-year study. *Caries Res* 40, 181-185 (2006).
29. Fung L, Smales R, Ngo H, Mount G: Diagnostic comparison of three groups of examiners using visual and laser fluorescence methods to detect occlusal caries in vitro. *Australian Dent J* 49, 67-71 (2004).
30. Fyffe HE, Deery CH, Nugent ZJ, Nuttall NM, Pitts NB: Effect of diagnostic threshold on the validity and reliability of epidemiological caries diagnosis using the Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis (DSTM). *Community Dent Oral Epidemiol* 28, 42-51 (2000a).
31. Fyffe HE, Deery CH, Nugent ZJ, Nuttall NM, Pitts NB: In vitro validity of the Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis (DSTM). *Community Dent Oral Epidemiol* 28, 52-58 (2000b).
32. Gerhardt G: *Gesund & fit bei jedem Wetter: Ein Wohlfühlkalender für das ganze Jahr*. Verlag im Kilian, Marburg 1998
33. Glass RL (ed.): The first international conference on the declining prevalence of dental caries. *J Dent Res* 61 (Spec Iss), 1304-1383 (1982).
34. Gmür R, Giertsen E, van der Veen MH, de Josselin de Jong E, ten Cate JM, Guggenheim B: In vitro quantitative light-induced fluorescence to measure changes in enamel mineralization. *Clin Oral Invest* 10, 187-195 (2006).
35. Goddon I, Berger S, Senkel H, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R: Okklusalkaries - frühzeitige Diagnostik in den schulischen Reihenuntersuchungen. *Gesundheitswesen* 70, 649-652 (2008).
36. Hannigan A, O'Mullane DM, Barry D, Schäfer F, Roberts AJ: A caries susceptibility classification of tooth surfaces by survival time. *Caries Res* 34, 103-108 (2000).
37. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Weerheijm K, Stößer L: Diagnostik der versteckten Okklusalkaries mit Bissflügel-Aufnahmen. *Dtsch Zahnärztl Z* 56, 476-480 (2001).
38. Heinrich-Weltzien R, Weerheijm K, Kühnisch J, Oehme T, Stößer L: Clinical evaluation of visual, radiographic, and laser fluorescence methods for detection of occlusal caries. *ASDC J Dent Child* 69, 127-132 (2002).
39. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Oehme T, Weerheijm K, Stößer L: Okklusalkaries-Diagnostik - Ein Vergleich von DIAGNOdent mit konventionellen Methoden. *Oralprophylaxe* 25, 77-80 (2003).
40. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J: Stellenwert der Bissflügel-Röntgenaufnahme zur Kariesdiagnostik bei Kindern und Jugendlichen. *ZWR* 116, 157-164 (2007).

41. Heinrich-Weltzien R, Haak R, Buchalla W, Kühnisch J: Kariesdiagnostik - Eine Herausforderung für den Zahnarzt? ZWR 117, 160-168 (2008).
42. Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. 5. Auflage, Elsevier 2007
43. Hibst R: Optische Meßmethoden zur Kariesdiagnose. ZWR 108, 50-55 (1999).
44. Hintze H, Wenzel A, Larsen MJ: Stereomicroscopy, film radiography, microradiography and naked-eye inspection of tooth sections as validation for occlusal caries lesions. Caries Res 29, 359-363 (1995).
45. Hujoel P, Mäkinen K, Bennett CB, Isokangas PJ, Isotupa KP, Pape JRH, Lamont RJ, DeRouen TA, Davis S: Do caries explorers transmit infections within persons? An evaluation of second molar caries onsets. Caries Res 29, 461-466 (1995).
46. Huth KC, Neuhaus KW, Gygax M, Bücher K, Crispin A, Paschos E, Hickel R, Lussi A: Clinical performance of a new laser fluorescence device for detection of occlusal caries lesions in permanent molars. J Dent 36, 1033-1040 (2008).
47. Huysmans M, Longbottom C: The challenges of validating diagnostic methods and selecting appropriate gold standards. J Dent Res 83 (Spec Iss C), C48-C52 (2004).
48. Ifland S, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R: Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF). ZWR 113, 254-248 (2004).
49. International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) Coordinating Committee : Criteria Manual; International Caries Detection and Assessment System (ICDAS II), Bogota/Budapest 2009.
<http://www.icdas.org/>
50. Jablonski-Momeni A, Hartmann T, Stoll R, Pieper K: Kariesprävalenz und Behandlungsbedarf bei 12-Jährigen in Marburg in den Jahren 2002 bis 2006. Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd 29, 161-164 (2007).
51. Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts DN, Heinzel-Gutenbrunner M, Pieper K: Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for detection of occlusal caries in vitro. Caries Res 42, 79-87 (2008a).
52. Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts D, Heinzel-Gutenbrunner M, Stoll R, Pieper K: Validierung des ICDAS-II zur Diagnose der Fissurenkaries - eine In-vitro Studie mittels Oberflächeninspektion und Histologie. Dtsch Zahnärztl Z 63, 343-349 (2008b).
53. Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Stachniss V, Maschka R, Heinzel-Gutenbrunner M, Stoll R, Pieper K: Occlusal Caries: Evaluation of direct microscopy versus digital Imaging used for two histological classification systems, Journal of Dentistry 37, 204-211 (2009).

54. Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Weber K, Ziomek O, Heinzel-Gutenbrunner M, Schipper HM, Stoll R, Pieper K: Effect of Different Time Intervals between Examinations on the Reproducibility of ICDAS-II for Occlusal Caries, *Caries Research* 44, 267-271 (2010).
55. Jablonski-Momeni A, Stachniss V: Serial sectioning of teeth and microscopy in cariology research.
In: Méndez-Vilas A, Díaz J (Hrsg.): *Microscopy: Science, Technology, Applications and Education*. Formatex Research Centre, Spanien (2010).
56. Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Rolfsen S, Stoll R, Heinzel-Gutenbrunner M, Stachniss V, Pieper K: Performance of laser fluorescence at tooth surface and histological section, *Lasers Med Sci* 26, 171-178 (2011a).
57. Jablonski-Momeni A, Rosen SM, Schipper HM, Stoll R, Roggendorf MJ, Heinzel-Gutenbrunner M, Stachniss V, Pieper K: Impact of measuring multiple or single occlusal lesions on estimates of diagnostic accuracy using fluorescence methods, *Lasers Med Sci* 27: 343–352 (2012a).
58. Jablonski-Momeni A, Liebegall F, Stoll R, Heinzel-Gutenbrunner M, Pieper K: Performance of a new fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro, *Lasers Med Sci*: DOI 10.1007/s10103-012-1080-9 (2012b).
59. Jenkins DJ, Wolever TM, Vuksan V, Brighenti F, Cunnane SC, Rao AV, Jenkins AL, Buckley G, Patten R, Singer W, Corey P, Josse RG: Nibbling versus gorging: metabolic advantages of increased meal frequency, *N Engl J Med* 321 (14), 929-934 (1989).
60. Juhl M: Localization of carious lesions in occlusal pits and fissures of human premolars. *Scand J Dent Res* 91, 251-255 (1983).
61. Keyes PH: Recent advances in dental caries research. Bacteriology. Bacteriological findings and biological implications. *Int Dent J* 12, 443-464 (1962).
62. Kingman A: Statistical issues in risk models of caries; in Bader JD (ed): *Risk assessment in dentistry*. Chapel Hill, NC University of North Carolina Dental Ecology, 193-200 (1990).
63. Klimek J, Hellwig E, Ahrens G: Der Einfluß von Plaque auf die Fluorstabilität im Schmelz nach Applikation von Aminfluorid im künstlichen Mund. *Dtsch Zahnärztl Z* 37, 836-840 (1982).
64. König KG: Dental morphology in relation to caries resistance with special reference to fissure as susceptible areas. *J Dent Res* 2, 461-476 (1963).
65. König K: *Karies und Kariesprophylaxe*. Wilhelm Goldmann Verlag GmbH München, 1971.
66. König K, Flemming G, Hibst R: Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. *Cell mol Biol* 44, 1293-1300 (1998).

67. Koulourides T: Dynamics of tooth surface oral fluid equilibrium. In: Staple P (Hg.) *Advances in Oral Biology*. Academic Press, Inc, New York, pp. 149-171, 1966.
68. Kühnisch J, Tabatabaie M, Viergutz G, Zraiki S, Hetzer G, Stösser L, Heinrich-Weltzien R: Vergleichende In-vitro-Untersuchung von zwei Verfahren zur elektrischen Widerstandsmessung an nicht kavitierten Okklusalfächen. *Dtsch Zahnärztl Z* 61, 131-136 (2006a).
69. Kühnisch J, Ifland S, Tranaeus S, Angmar-Månsson B, Hickel R, Stösser L, Heinrich-Weltzien R: Establishing quantitative light-induced fluorescence cutoffs for the detection of occlusal dentine lesions. *Eur J Oral Sci* 114, 483-488 (2006b).
70. Kühnisch J, Goddon I, Senkel H, Monse-Schneider B, Oehme T, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: Development of a Universal Visual Scoring System (UniViss) (Abstract). *Caries Res* 41, 289 (2007a).
71. Kühnisch J, Ifland S, Tranaeus S, Hickel R, Stösser L, Heinrich-Weltzien R: In vivo detection of non-cavitated caries lesions on occlusal surfaces by visual inspection and quantitative light-induced fluorescence. *Acta Odontol Scand* 65, 183-188 (2007b).
72. Kühnisch J, Berger S, Goddon I, Senkel H, Pitts N, Heinrich-Weltzien R: Occlusal caries detection in permanent molars according to WHO basic methods, ICDAS II and laser fluorescence measurements. *Community Dent Oral Epidemiol* 36, 475-484 (2008).
73. Kühnisch J, Bücher K, Henschel V, Albrecht A, Garcia-Godoy F, Mansmann U, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: Diagnostic performance of the universal visual scoring system (UniViss) on occlusal surfaces. *Clin Oral Invest* 15, 215-223 (2011).
74. Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33, 159-174 (1977).
75. Laurisch L: Gratwanderung Kariesdiagnostik: invasiv oder präventiv? *Dtsch Zahnärztl Z* 62, 206-212 (2007).
76. Levine RS: The aetiology of dental caries - an outline of current thought. *Int Dent J* 27, 341-348 (1977).
77. Loesche WJ, Svanberg ML, Pape HR: Intraoral transmission of streptococcus mutans by a dental explorer. *J Dent Res* 58, 1765-1770 (1979).
78. Longbottom C, Huysmans MC, Pitts N, Los P, Bruce PG: Detection of dental decay and its extent using a.c. impedance spectroscopy. *Nat Med* 2, 235-237 (1996).
79. Longbottom C, Huysmans MC: Electrical measurements for use in caries clinical trials. *J Dent Res* 83 (Spec Iss), C76-C79 (2004).
80. Lussi A: Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res* 27, 409-416 (1993).

81. Lussi A, Hotz P, Stich H: Die Fissurenkaries. Diagnostik und therapeutische Grundsätze. Dtsch Zahnärztl Z 50, 629-634 (1995).
82. Lussi A: Impact of including or excluding cavitated lesions when evaluating methods for the diagnosis of occlusal caries. Caries Res 30, 389-393 (1996).
83. Lussi A: Methoden zur Diagnose und Verlaufsd Diagnose der Karies. Wann bohren? Schweiz Monatsschr Zahnmed 108, 357-364 (1998).
84. Lussi A: Laserinduzierte Fluoreszenz zur Erkennung der Okklusalkaries. Erste in-vivo-Resultate. Acta Med Dent Helv 5, 15-19 (2000).
85. Lussi A, Francescut P, Schaffner M: Neue und konventionelle Methoden zur Diagnose der Fissurenkaries. Quintessenz 54, 1037-1046 (2003).
86. Lussi A, Hibst R, Paulus R: DIAGNOdent: An optical method for caries detection. J Dent Res 83 (Spec Iss C), C80-C83 (2004).
87. Lussi A, Hellwig E: Performance of a new laser fluorescence device for the detection of occlusal caries in vitro. J Dent 34, 467-471 (2006).
88. Marthaler TM: Changes in dental caries 1953-2003. Caries Res 38, 173-181 (2004).
89. Matos R, Novaes TF, Braga MM, Siqueira WL, Duarte DA, Mendes FM: Clinical Performance of Two Fluorescence-Based Methods in Detecting Occlusal Caries Lesions in Primary Teeth. Caries Res 45, 294-302 (2011).
90. Mejare I, Källestål C, Stenlund H, Johansson H: Caries development from 11 to 22 years of age: a prospective radiographic study. Prevalence and distribution. Caries Res 32, 10-16 (1998).
91. Menzel H, des Bordes L: Die Brauchbarkeit des Kaltlichtes bei der Frühdiagnose der Karies im Vergleich zur klinischen und röntgenologischen Untersuchungsmethode. Dtsch Zahnärztl Z 29, 147-150 (1974).
92. Micheelis W, Schiffner U: Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Neue Ergebnisse zu oralen Erkrankungsprävalenzen, Risikogruppen und zum zahnärztlichen Versorgungsgrad in Deutschland 2005. Institut der Deutschen Zahnärzte (Hrsg.). Deutscher Zahnärzte Verlag Köln 2006.
93. Miller WD: Die Mikroorganismen der Mundhöhle. Leipzig 1889. Zitiert in: Hoffmann-Axthelm W: Die Geschichte der Zahnheilkunde. Quintessenz Verlag Berlin 1973.
94. Momeni A, Pieper K, Stoll R: Rückgang der Kariesprävalenz bei 6- bis 7-Jährigen in Hessen in den Jahren 1994 bis 2000. Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd 24, 99-102 (2002).
95. Momeni A, Hartmann T, Born C, Pieper K: Kariesprävalenz und Behandlungsbedarf bei 12-Jährigen im Kreis Marburg-Biedenkopf. Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd 26, 153-156 (2005).

96. Nagano T: Relationship between the form of pit and fissure and the primary lesion of caries. *Dent Abstr* 6, 426 (1961).
Zitiert in: König KG: Dental morphology in relation to caries resistance with special reference to fissure as susceptible areas. *J Dent Res* 2, 461-476 (1963).
97. Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V: Reliability of a new caries diagnostic system differentiating between active and inactive caries lesions. *Caries Res* 33, 252-260 (1999).
98. Pearce E, Larsen M, Coote G: Fluoride in enamel lining pits and fissures of the occlusal groove-fossa system in human molar teeth. *Caries Res* 33, 196-205 (1999).
99. Penning C, van Amerongen JP, Seef RE, ten Cate JM: Validity of probing for fissure caries diagnosis. *Caries Res* 26, 445-449 (1992).
100. Pereira AC, Verdonchot E, Huysmans MC: Caries detection methods: Can they aid decision making for invasive sealant treatment? *Caries Res* 35, 83 (2001).
101. Pereira AC, Eggertsson H, Martinez-Mier EA, Mialhe FL, Eckert GJ, Zero DT: Validity of caries detection on occlusal surfaces and treatment decisions based on results from multiple caries-detection methods. *Eur J Oral Sci* 117, 51-57 (2009).
102. Pieper K: Erste Erfahrungen mit einer neu entwickelten Kaltlicht-Diagnosesonde. *ZWR* 3, 262-263 (1986).
103. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1994. Gutachten. DAJ, Bonn 1995.
104. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1995. Gutachten. DAJ, Bonn 1996.
105. Pieper K: Epidemiologie der Gebisserkrankungen. Urban und Schwarzenberg, München 1997.
106. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1997. Gutachten. DAJ, Bonn 1998.
107. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2000. Gutachten. DAJ, Bonn 2001.
108. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2004. Gutachten. DAJ, Bonn 2005.
109. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2009. Gutachten. DAJ, Bonn 2010.
110. Pine CM, ten Bosch JJ: Dynamics of and diagnostic methods for detecting small carious lesions. *Caries Res* 30, 381-388 (1996).
111. Pitts NB: Clinical diagnosis of dental caries: a european perspective. *J Dent Educ* 65, 972-978 (2001).

112. Pitts N: „ICDAS“ - an international system for caries detection and assessment being developed to facilitate caries epidemiology, research and appropriate clinical management. *Commun Dent Health* 21, 193-198 (2004).
113. Pitts NB, Longbottom C, Ricketts D, Czajczynska-Waszkiewicz A: Hidden Dentinal Caries Detection Using a Novel Electrical Impedance Device (Abstract).
http://iadr.confex.com/iadr/2008Toronto/techprogram/abstract_108999.htm (2008a).
114. Pitts NB, Longbottom C, Hall AF, Czajczynska-Waszkiewicz A, Los P, Masalski M, Biecek P, Christie AM: Diagnostic Accuracy of an Optimised AC Impedance Device to Aid Caries Detection and Monitoring, *Caries Research*, 42(3) 211 (2008b).
115. Pretty IA, Hall AF, Smith PW, Edgar WM, Higham SM: The intra- and inter-examiner reliability of quantitative light-induced fluorescence (QLF) analyses. *Br Dent J* 193, 105–109 (2002).
116. Pretty IA, Maupomé G: A closer look at diagnosis in clinical dental practice: part 5. Emerging technologies for caries detection and diagnosis. *J Can Dent Assoc* 70, 540-540i (2004).
117. Raggio DP, Braga MM, Rodrigues JA, Freitas PM, Imparato JC, Mendes FM: Reliability and discriminatory power of methods for dental plaque quantification. *J Appl Oral Sci* 18(2), 186-193 (2010).
118. Raper HR: A new kind of x-ray examination for preventive dentistry. *Int J Orthod Oral Surg* 11, 76-86 (1925).
119. Ricketts DNJ, Kidd EAM, Willson RF: A re-evaluation of electrical resistance measurements for the diagnosis of occlusal caries. *Br Dent J* 178, 11-17 (1995a).
120. Ricketts DNJ, Kidd EA, Beighton D: Operative and microbiological validation of visual, radiographic and electronic diagnosis of occlusal caries in non-cavitated teeth judged to be in need of operative care. *Br Dent J* 179, 214-220 (1995b).
121. Ricketts DNJ, Watson TF, Liepin PJ, Kidd EAM: A comparison of two histological validating techniques for occlusal caries. *J Dent* 26, 89-96 (1998).
122. Ricketts DNJ, Ekstrand KR, Kidd EA, Larsen T: Relating visual and radiographic ranked scoring systems for occlusal caries detection to histological and microbiological evidence. *Operative Dent* 27, 231-237 (2002).
123. Ricketts DNJ, Shoaib L, Deery L, Nugent ZJ: The validity and reproducibility of a laser fluorescence pen for caries detection in primary teeth (Abstract). *Caries Res* 42, 224 (2008).

124. Rodrigues JA, Hug I, Diniz MB, Lussi A: Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS II on occlusal surfaces in vitro. *Caries Res* 42, 297-304 (2008).
125. Rodrigues JA, Hug I, Neuhaus KW, Lussi A: Light-emitting diode and laser fluorescence-based devices in detecting occlusal caries. *Journal of Biomedical Optics* 16, (10) (2011).
126. Rohr M, Makinson OF, Burrow MF: Pits and fissures: morphology. *ASDC J Dent Child* 58, 97-103 (1991).
127. Rosen SM, Pieper K, Stachniss V, Heinzl-Gutenbrunner M, Jablonski-Momeni A: Reproducibility of three fluorescence methods for occlusal caries diagnosis in permanent teeth (Abstract). *International Journal of Paediatric Dentistry* 19 (Suppl. 1): 66–170 (2009).
128. Ruckhofer E, Städtler P: Ist Vista Proof eine Hilfe bei der Kariesdiagnostik? *Stomatologie* 107, 13-16 (2010).
129. Schiffner U, Hoffman T, Kerschbaum T, Micheelis W: Oral health in German children, adolescents, adults and senior citizens in 2005. *Community Dent Health* 26, 18-22 (2009).
130. Schneiderman A, Elbaum M, Shultz T, Keem S, Greenebaum M, Driller J: Assessment of dental caries with digital imaging fiber-optic transillumination (DIFOTI): in vitro study. *Caries Res* 31, 103-110 (1997).
131. Schroeder HE: Pathobiologie oraler Strukturen. 3. Auflage, Karger 1997.
132. Schulte A, Pieper K: Elektrische Widerstandswerte in Fissuren kariesfreier Prämolaren von Erwachsenen und Kindern. *Dtsch Zahnärztl Z* 52, 741-744 (1997).
133. Schulte A, Momeni A, Pieper K: Diagnose der Approximal- und Fissurenkaries. In: Einwag J, Pieper K (Hrsg.): *Praxis der Zahnheilkunde, Band 14 Kinderzahnheilkunde*, 3. Auflage, Elsevier, Urban & Fischer, 2008.
134. Sheehy EC, Brailsford SR, Kidd EAM, Beighton D, Zoitopoulos L: Comparison between visual examination and a laser fluorescence system for in vivo diagnosis of occlusal caries. *Caries Res* 35, 421-426 (2001).
135. Shi XQ, Welander U, Angmar-Månsson B: Occlusal caries detection with KaVo DIAGNOdent and radiography: an in vitro comparison. *Caries Res* 34, 151-158 (2000).
136. Souza-Zaroni WC, Ciccone JC, Souza-Gabriel, AE, Ramos RP, Corona SAM, Palma-Dibb, RG: Validity and reproducibility of different combinations of methods for occlusal caries detection: an in vitro comparison. *Caries Res* 40, 194-201 (2006).
137. Stachniss V, Schwarzbach H: Hartschnitt/ Schliffpräparate von Zähnen für Endodontie & digitale Makro-Repros, *ZWR* 118 (10), 476-483 (2009).

138. Stübel H: Die Fluoreszenz tierischer Gewebe im ultra-violetten Licht. *Pfluegers Arch Ges Physiol* 142, 1-14 (1911).
Zitiert in: Ifland S, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R: Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF). *ZWR* 113, 254-248 (2004).
139. ten Bosch JJ, Angmar-Månsson B: A review of quantitative methods for studies of mineral contents of intra-oral incipient caries lesions. *J Dent Res* 70, 2-14 (1991).
140. Terrer E, Koubi S, Dionne A, Weisrock G, Sarraquigne C, Mazuir A, Tassery H: A New Concept in Restorative Dentistry: Light-Induced Fluorescence Evaluator for Diagnosis and Treatment: Part 1 – Diagnosis and Treatment of Initial Occlusal Caries. *J Contemp Dent Pract* 10(6), 86-94 (2009).
141. Terrer E, Raskin A, Koubi S, Dionne A, Weisrock G, Sarraquigne C, Mazuir A, Tassery H: A New Concept in Restorative Dentistry: LIFEDT - Light-Induced Fluorescence Evaluator for Diagnosis and Treatment: Part 2 – Treatment of Dentinal Caries. *J Contemp Dent Pract* 11(1), 95-102 (2010).
142. Thoms M: Detection of intraoral lesions using a fluorescence camera. *Proceedings of SPIE. Lasers in Dentistry XII*, 6137, 1-7 (2006).
143. Wenzel A, Verdonschot EH, Truin GJ, König KG: Accuracy of Visual Inspection, Fiber-optic Transillumination, and Various Radiographic Image Modalities for the Detection of Occlusal Caries in Extracted Non-cavitated Teeth. *J Dent Res* 71(12), 1934-1937 (1992).
144. Wenzel A: Bitewing and digital bitewing radiography for detection of caries lesions. *J Dent Res* 83 (Spec Iss C), C72-C75 (2004).
145. Weerheijm KL, Groen HJ, Bast AJJ, Kieft JA, Eijkman MAJ, van Amerongen WE: Clinically undetected occlusal dentine caries: A radiographic comparison. *Caries Res* 26, 305-309 (1992).
146. Weerheijm KL, Kidd EAM, Groen HJ: The effect of fluoridation on the occurrence of hidden caries in clinically sound occlusal surfaces. *Caries Res* 31, 30-34 (1997).
147. WHO: Oral health surveys. Basic methods, ed 4. World Health Organization, Geneva 1997.
148. Zöfel P: Statistik verstehen. Addison-Wesley Verlag, München 2002.

9 Anhang**Anhang I**

Dokumentationsbogen für die visuelle Kariesdiagnose mit ICDAS-II.

ICDAS-II Versuchsreihe: _____ (Code 0 – 6)

Untersucher: _____

ZahnNr.	ICDAS-II Code/MesspunktNr.			Datum der Untersuchung
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				
25.				
26.				
27.				
28.				
29.				
30.				
31.				
32.				

Anhang II

Dokumentationsbogen der VistaProof-Messung.

VistaProof Versuchsreihe: _____ (Wert 0 – 4)

Untersucher: _____

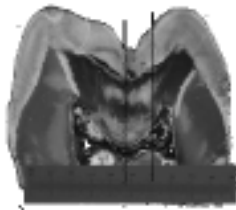
ZahnNr.	VistaProof Wert/MesspunktNr.			Datum der Untersuchung
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				
25.				
26.				
27.				
28.				
29.				
30.				
31.				
32.				

Anhang III

Dokumentationsbogen für die histologischen Untersuchungen. Die zu beurteilende Region innerhalb des Zahnhartschnittes wird durch die Linien begrenzt.



035/Ebene 4

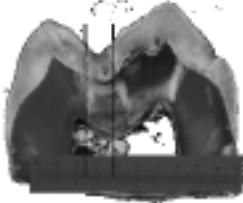


035/Ebene 5

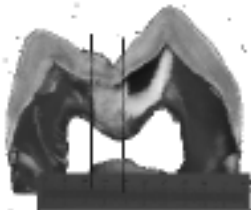
Zahn 35	Klassifikation nach Downer	Klassifikation nach ERK
Messpunkt 1 Ebenen		
4		
5		
gesamt		



035/Ebene 6



035/Ebene 7



035/Ebene 8

Zahn 35	Klassifikation nach Downer	Klassifikation nach ERK
Messpunkt 2 Ebenen		
6		
7		
8		
gesamt		

Anhang IV

Beispiele von Zähnen mit markierten Messpunkten.

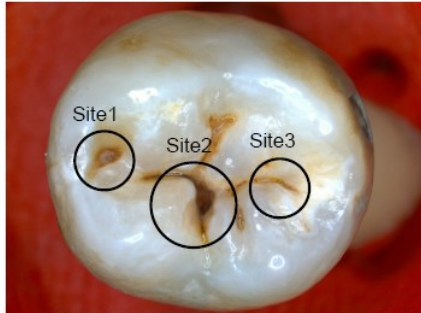
ZahnNr9



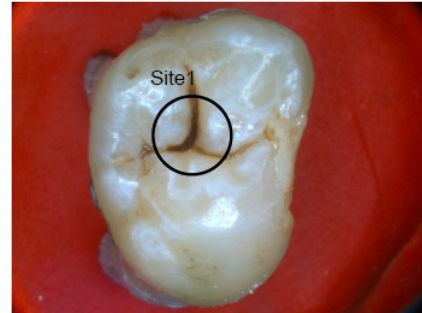
ZahnNr13



ZahnNr10



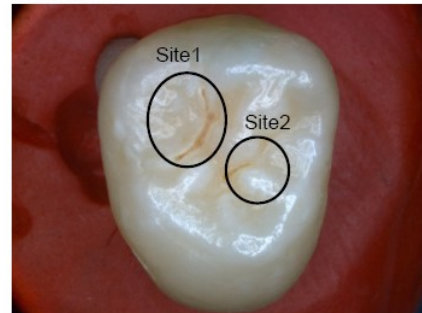
ZahnNr14



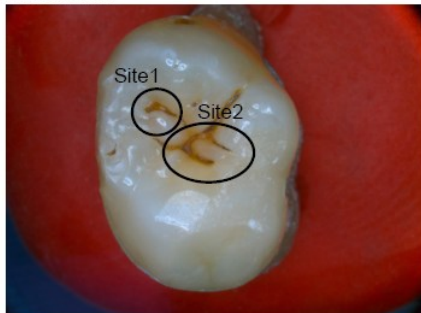
ZahnNr11



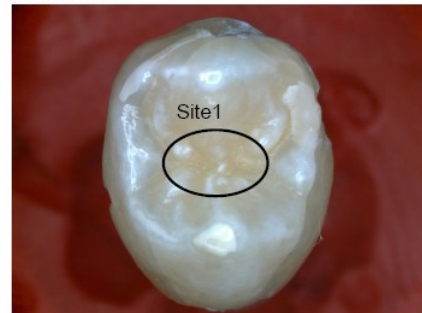
ZahnNr15



ZahnNr12



ZahnNr16



Anhang V

Protokollblatt zur Dokumentation der Entwässerungs- und Infiltrationsreihe für die Zahnkronen.

Med. Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg; Abt. Zahnerhaltung, Direktor: Prof. Dr. V. Stachniss

Dokumentation zur Hartschnitt-Aufbereitung von Zähnen klinischer Fälle

File: Maske_HST_AlkoholreiheInfiltration_2k8-02-05
c:\ab9\hartschnitt_Pat-Zahn-Aufbereitung_2k6-07-04.xls

Patient/in

Aufkleberbild

Überweisender Behandler

Zahn #

Datum =
Probennummer - Muster
P# 2008-MM-TT

P# 2008 - 0

Vorbehandlung Zustand nach:

Extraktionsgrund

Rönt-Bilder:

vor WF
nach WF
vor Extraktion
nach Extraktion

Datum	digital/analog

Zahnlänge
in mm

gewünschte
Dicke der
Schnitte
in µm

gewünschtes
Format der
Objektträger
(Standard)
75x25x2 mm
100x50x2 mm

Entwässerungsreihe				Präinfiltration		Infiltration		Vakuum		Vorpolymerisation	
Alkohol %	40 %	80 %	100 %	Alkohol/Tech- novit 1:1	novit 1:1	Technovit 7200	Technovit 7200	- 800 mbar	UV-A Licht	min. 4 h	
Stunden soll	12	12	12	24	24	36	36			norm. 10 h	
Datum											
Stunden Start											
Stunden Ende											
Aufführender											

Werkstoffe Fa. Kulzer Fa. Voss Fa. Kulzer
zur ZT- PMMA Polyester GH Technovit 7200

Formteile
zur
Einbettung

Acryl-Zen-
trier-Konus Acrylrohr
10 ml Spritze 12 ml Spritze

Eiswasser
Druck

Vorschub zur Dreiteilung des Zahnes:
(Zahnlänge in mm minus)/3

Vorschub V0 = in µm	
Vorschub V1 = in µm	

V1 - Defaultwert für
200µm D64 Band
100µm D66 Band

700 µm
450 µm

Die Aufbereitung
ausgeführt:
Unterschrift + Datum

Frau Schäfer

Prof. Stachniss

N.N.

Repräsentation Name:
digitale Makro-Repro:
Zustand wie angeliefert
Schnittebenen #:
Präparate archiviert
Präp.-Kasten # von-bis
Daten gespeichert wo:
Pfad & Filename:

Repräsentation Name:	digitale Makro-Repro:
Zustand wie angeliefert	Schnittebenen #:
Präparate archiviert	Präp.-Kasten # von-bis
Daten gespeichert wo:	Pfad & Filename:

Anhang VI

Dokumentationsblatt zur Herstellung der Zahnhartschnitte.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	Schneideprotokoll_3er-Platte_2k8.02.04.xls														Schneideprotokoll für die Herstellung histologische Hartschnitte/Schliffe
2															
3	Bandspezifische Parameter:														
4	Banddicke in µm 200 100														
5	Diamantierung D 65 46														
6	Verschnitt in µm 420 290 Default-Wert														
7	berechnet aus Verlaufskontrollen														
8															
9	Algorithmus: Vorschub = Band-Verschnitt + Block-Handschliff + Präparat-Handschliff + Präparatdicke														
10	Beispiele in µm 680 420 65 45 150 (netto, d.h. ohne die 25 µm Kleberschicht)														
11															
12	Vorschub Schlitten-Zuggewicht														
13	Default-Wert 680 +- 20 µm														
14	oder neu														
15	Datum & Schnitt														
16	Uhrzeit #														
17	berechneter in µm														
18															
19															
20	1														
21															
22															
23	2														
24															
25															
26	3														
27															
28															
29	4														
30															
31															
32	5														
33															
34															
35	6														
36															
37															
38	7														
39															

Seite 1

10 Abkürzungsverzeichnis

Alphabetische Auflistung der im Text verwendeten Abkürzungen:

°C	Grad Celsius
µm	Mikrometer
Abb.	Abbildung
AUC	Area under the curve
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CLSM	Confocal Laser Scanning Microscope
D1	Karies auf Dentin- und Schmelz-Ebene
D3	Karies auf Dentin-Ebene
d.h.	das heißt
DAJ	Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege
DIFOTI	Digitale faseroptische Transillumination
DSTM	Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis
e.g.	exempli gratia; zum Beispiel
FOTI	Faseroptische Transillumination
GaN	Galliumnitrid
ggf.	gegebenenfalls
h	Stunden
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
ICDAS	International Caries Detection and Assessment System
κ	Kappa
ML	Messlänge
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mW	Milliwatt
NaOCl	Natriumhypochlorit
nm	Nanometer
QLF	Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz
ROC	Receiver Operating Characteristic
r _s	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
s	Sekunden

S.	Streptokokkus
SE	Sensitivität
SP	Spezifität
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
Tab.	Tabelle
TMR	Transversale Mikroradiographie
tan	Tangens
UniViss	Universelles visuelles Scoring System
VP	VistaProof
WHO	World Health Organisation
z.B.	zum Beispiel

11 Materialliste

Auflistung der in der Studie verwendeten Materialien.

Materialien zur Lagerung und Reinigung der Zähne

- Thymol krist. reinst, Merck, Darmstadt
- Handscaler
- Sonicflex paro Nr. 60, KaVo, Biberach
- Prophyflex2 2012, KaVo, Biberach
- Natriumbikarbonat Reinigungspulver, KaVo, Biberach
- Miniatur-Zahnreinigungsbürstchen, Pluradent, Offenbach
- Zircate Prophy Paste, Dentsply Detrey, Konstanz
- Super Polish, Kerr Hawe SA, Bioggio, Schweiz

Materialien zur Fotodokumentation und Bildbetrachtung

- Leica DFC Kamera mit Leica Z6 APO Mikroskopobjektiv (Leica Microsystems, Wetzlar)
- Glasmaßstab, Leitz, Wetzlar
- Software: Leica Qwin
- Software: Adobe Photoshop CS4
- 18-Zoll-TFT-Farbmonitor: FlexScan L768, EIZO, Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal

Materialien für ICDAS-II-Befundung

- zahnärztliche Operationsleuchte
- Multifunktionsspritze (Püster)

Materialien für die Fluoreszenzuntersuchungen

- Fluoreszenzkamera VistaProof Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen
- Laptop: Acer TravelMate 290, Intel Pentium M Prozessor 1,40 GHz, Betriebssystem Windows XP
- Software: DBSwin

Labormaterialien

- Alkohol 40%, 60%, 80%, 100%, Merck, Darmstadt
- Technovit 7200 VLC, Heraeus Kulzer, Wehrheim
- Technovit 7210 VLC, Heraeus Kulzer, Wehrheim
- Histolux, Kulzer Exakt, Wehrheim
- IbiClear PVC, 0,2 mm, Ibico, USA
- Acrylglas Halbzeuge, Krüger, Hamburg
- Diamantband-Säge, Exakt, Hamburg
- Carborundum Schleifpapier, Hermes, Hamburg
- Mineralgläschen, Menzel, Braunschweig
- Stereo-Makroskop M 420, Wild Heerbrugg AG, Schweiz

12 Lebenslauf

Diese Seite enthält persönliche Daten und ist deshalb nicht Bestandteil der Online-Veröffentlichung.

13 Verzeichnis akademischer Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren folgende Damen und Herren:

Adamkiewicz, Aumüller, Austermann, Coca, Czubayko, Dibbets, Feuser, Flores-de-Jakoby, Gente, Hasilik, Höffken, Jablonski-Momeni, Koolmann, Kroh, Lill, Löffler, Lotzmann, Mandrek, Mengel, Mittag, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Pancherz, Plant, Pieper, Ramaswamy, Richter, Röhm, Seitz, Sonntag, Stachniss, Steiniger, Stoll, Suske, Weihe, Wennemuth, Werner

14 Danksagung

Diese Dissertationsschrift wäre ohne die Unterstützung einer Vielzahl an Personen nicht zustande gekommen.

Zunächst gilt mein Dank Frau Professor Anahita Jablonski-Momeni für die Überlassung des Themas. Durch ihre überaus intensive und geduldige, dabei über das normale Maß sicherlich hinausgehende Betreuung bei den praktischen Arbeiten und der Niederschrift hat sie einen sehr wichtigen Beitrag geleistet.

Auch Professor Vitus Stachniss hat mir mit wertvollen Anregungen sowie praktischer Unterstützung sehr geholfen.

Dr. Frank Zimmermann und der Firma Dürr Dental danke ich für die Unterstützung durch Bereitstellung des VistaProof-Systems.

Frau Petra Grimmelbein sei gedankt für die technisch-handwerkliche sowie beratende Mithilfe bei der Herstellung der Hartschnittpräparate und deren fotografischer Reproduktion. Frau Dr. Monika Heinzel-Gutenbrunner gebührt Dank für ihren Beitrag zur statistischen Auswertung.

Ich danke meiner Familie für ihre umfangreiche praktische, wissenschaftliche und auch moralische Unterstützung während meiner Studien sowie beim Dissertationsvorhaben.

Weiterhin sei erwähnt, dass ich nie auf die Rückendeckung einiger guter Freunde verzichten musste. Darüber bin ich sehr froh.

Besonderer Dank gilt Frau Isabelle Naumann, M.A. für Ihre Geduld, viel guten Rat und Aufmunterung.

15 Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „Zur Sensitivität und Spezifität der digitalen Fluoreszenzkamera VistaProof für die Detektion der okklusalen Karies“ im Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Abteilung für Kinderzahnheilkunde, unter der Leitung von Frau Prof. Dr. A. Jablonski-Momeni ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Teile dieser Arbeit wurden als Posterpräsentation bzw. Kurzvortrag vorgestellt und die entsprechenden Abstracts publiziert:

- Jablonski-Momeni A, Rosen SM, Schipper HM, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Performance of ICDAS-II and fluorescence methods for detection of occlusal caries. Int J Paediatr Dent 19, Abstracts of the 22nd Congress of the International Association of Paediatric Dentistry. München, 17–20 June (2009). (vorgestellt beim Congress of the International Association of Paediatric Dentistry, München, 17.-20.06.2009)
- Schipper HM, Rosen SM, Jablonski-Momeni A: Einsatz von vier Verfahren für die Diagnose der Okklusalkaries durch unterschiedlich erfahrene Untersucher. Deutsche Zahnärztliche Z 64, D58 (2009). Teilnahme am Dentsply Förderpreis 2009. (vorgestellt auf dem Deutschen Zahnärztetag/ Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde 2009, München, 6.-7.11.2009)
- Jablonski-Momeni A, Schipper HM, Rosen SM, Heinzl-Gutenbrunner M, Stachniss V, Pieper K: Impact of Independent Data Using Fluorescence Methods for Occlusal Caries Diagnosis. Caries Res 44, 227-228 (2010). (vorgestellt beim 57th Annual ORCA Congress, Montpellier, Frankreich, 7.-10.07.2010)

- Schipper HM, Rosen SM, Heinzl-Gutenbrunner M, Stachniss V, Pieper K, Jablonski-Momeni A: Validity of a fluorescence camera for detection of occlusal caries. <http://iadr.confex.com/iadr/2010barce/webprogramcd/Paper136970.html> (2010). (vorgestellt auf der International Association of Dental Research General Session, Barcelona, Spanien, 14.-17.07.2010)

Weiterhin wurden Teile dieser Arbeit publiziert:

Jablonski-Momeni A, Schipper HM, Rosen SM, Stachniss V, Pieper K: Validierung einer neu entwickelten fluoreszenzbasierten Kamera zur Diagnose der Fissurenkaries- eine In-vitro-Studie. Teamwork Journal for Continuing Dental Education 13: 370-379 (2010). *(Diese Arbeit wurde mit dem Förderpreis Digitale Zahnmedizin ausgezeichnet)*

Jablonski-Momeni A, Schipper HM, Rosen SM, Heinzl-Gutenbrunner M, Roggendorf MJ, Stoll R, Stachniss V, Pieper K: Performance of a fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. Odontology 99: 55-61 (2011). (Impact Factor: 1,071)

Jablonski-Momeni A, Rosen SM, Schipper HM, Stoll R, Roggendorf MJ, Heinzl-Gutenbrunner M, Stachniss V, Pieper K: Impact of measuring multiple or single occlusal lesions on estimates of diagnostic accuracy using fluorescence methods. Lasers in Medical Science 27: 343–352 (2012). (Impact Factor: 2,311)

Ort, Datum, Unterschrift